

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

«На правах рукопису»

УДК 669.018.9

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ М. М. Ямшинський

« ____ » _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 136 - Металургія

на тему: «Розроблення композицій для 3D моделей»

Науковий керівник

Стаднійчук Віта Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

к.т.н. доцент Лютий Р.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

к.т.н., доц. Зацарний В.В.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант з економічно-організаційної частини

к.е.н., доц. Глущенко Я.І.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант з нормоконтролю

к.т.н., доц. Федоров Г.Є.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ (підпис)

Київ – 2018 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
 Спеціальність (спеціалізація) – 136 «Металургія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М.М. Ямшинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2018 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Стаднійчук Віті Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Розроблення композицій для 3D моделей»

Науковий керівник Лютій Ростислав Володимирович к. т. н. доцент,

затверджені наказом по університету від « 09 » листопада 2018 року
№4127-с

2. Термін подання студентом дисертації: 18 грудня 2018 року

3. Об'єкт дослідження: Модельна полімерна композиція для 3D-друку.

4. Предмет дослідження: Температура плавлення, текучість та тривалість
твердіння композицій залежно від їхнього складу.

5. Перелік питань, які потрібно розробити: 5.1 Опрацювати та
проаналізувати

літературу за темою дослідження;

5.2 Оптимізувати методику дослідження;

5.3 Провести експерименти;

5.4 Виготовити зразки;

5.5 Дослідити ливарні властивості отриманих зразків;

5.6 Розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних

ситуаціях;

5.7 Розробити організаційно-економічну частину роботи;

5.8 Сформулювати загальні висновки та рекомендації.

6. Перелік ілюстративного матеріалу: Презентація (15 слайдів)

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	к.т.н. доцент Зацарний В.В.		
Економічно-організаційна частина	к.е.н. доцент Глуценко Я.І.		
Нормоконтроль	к.т.н. доцент Федоров Г.Є		

8. Дата видачі завдання 3 вересня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Переддипломна науково-дослідна практика	03.09...28.10.2018р.	
2	Опрацювання та аналіз літератури за темою Дослідження	03.09...10.10.2018р.	
3	Оптимізація методики дослідження	04.09...10.09.2018р.	
4	Планування та реалізація експериментів	14.09...04.10.2018р.	
5	Виготовлення зразків, їх дослідження та аналіз Результатів	16.09...12.11.2018р.	
6	Виконання організаційно-економічної частини	21.11...17.11.2018р.	
7	Виконання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	25.11...17.11.2018р.	
8	Виконання ілюстративної частини роботи	01.12...03.12.2018р.	
9	Оформлення магістерської дисертації	02.12...17.12.2018р.	
10	Подання дипломної роботи до захисту	17.12.2018р.	
11	Рецензування дипломної роботи	07.12...18.12.2018р.	
12	Захист дипломної роботи	19.12.2018р.	

Студент

Науковий керівник

(підпис)_____
(підпис)Стаднійчук В. С.

(прізвище та ініціали)

Лютий Р.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД МОДЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ.....	11
1.1 Матеріали для модельних композицій та вимоги до них.....	11
1.2 Види воску, використовувані в моделюванні.....	16
1.3 Виготовлення воскових моделей і контроль їх якості.....	20
1.4 Технології 3D-друку воскових моделей.....	25
1.5 Висновки і постановка задач.....	32
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	36
2.1 Визначення температури плавлення.....	36
2.2 Визначення в'язкості.....	38
2.3 Визначення часу тужавіння.....	40
3 РОЗРОБЛЕННЯ СКЛАДУ І ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДЕЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЇ.....	42
3.1 Дослідження існуючої модельної композиції для 3D-принтера.....	42
3.2 Вибір матеріалів для приготування експериментальних модельних композицій.....	48
3.3 Дослідження властивостей модельної композиції аналога.....	49
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	61
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....	61
4.2 Мета і завдання НДР.....	62
4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу...	62
4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску.....	64
4.3.3 Визначення вартості матеріалів і напівфабрикатів для виконання...	64
4.3.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів.....	65
4.3.5 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій.....	65
4.3.6 Визначення витрат на службові відрядження.....	65
4.3.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат.....	66
4.3.8 Визначення накладних витрат.....	66
4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості НДР.....	67

4.4	Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності.....	68
4.5	Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності.....	71
4.6	Висновки до розділу 4.....	71
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	72
5.1	Вступ.....	72
5.2	Аналіз параметрів мікроклімату в приміщенні.....	72
5.3	Аналіз освітленості приміщення.....	75
5.4	Аналіз рівня шуму.....	79
5.5	Аналіз запиленості повітря робочої зони пилом.....	79
5.6	Електробезпека.....	80
5.7	Пожежна безпека.....	81
5.8	Теплове випромінювання 3D-прентера.....	83
5.9	Забруднення середовища під час друку на 3D-принтері.....	83
5.10	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	83
5.11	Висновки.....	86
6	СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	87
6.1	Команда.....	87
6.2	Назва проекту.....	87
6.3	Короткий опис проекту.....	87
6.4	Бізнес-модель.....	87
6.4.1	Цінний продукт.....	88
6.4.2	Сегмент споживачів.....	88
6.4.3	Канали збуту.....	88
6.4.4	Взаємодія з споживачами.....	88
6.4.5	Дохід (монетизація).....	88
6.4.6	Ключові види діяльності.....	89
6.4.7	Ключові ресурси.....	89
6.4.8	Ключові партнери.....	89
6.4.9	Витрати.....	89

6.5 Споживчі властивості товару.....	89
6.6 Дослідження ринку.....	90
6.7 Дослідження конкурентного оточення	
6.8 Маркетингова стратегія просування.....	90
6.8 Маркетингова стратегія просування.....	90
6.9 Елементи фінансового плану.....	91
6.9.1 Опис бізнес-проекту.....	91
6.9.2 Опис товару/послуги/технології.....	91
6.9.3 Маркетинг та продаж.....	91
6.9.4 Фінансовий план.....	92
6.9.5 Резюме.....	92

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

ВСТУП

Ювелірне мистецтво як і всі галузі виробництва не стоїть на місці. Сучасні тенденції змушують майстрів застосовувати нові матеріали та способи виготовлення виробів.

Сучасні способи виготовлення ювелірних виробів дозволяють в найкоротші терміни виготовити прикраси будь-якої складності.

Лиття за моделями, що витоплюються – один з найбільш точних способів виготовлення литих деталей. Цей спосіб широко використовується у виробництві як простих, так і складних та тонкостінних деталей, художніх та ювелірних виробів завдяки високій якості поверхні та мінімізації припусків на механічне оброблення. В деяких випадках це єдиний економічно доцільний спосіб виготовлення окремих виливків, в тому числі й на замовлення, адже спосіб передбачає виготовлення деталі будь-якої конфігурації.

Застосування сучасних способів друку моделей дає можливість створення унікальних виробів. Для виготовлення таких моделей використовують спеціальні композиційні матеріали, склад яких не вказано виробником.

1 ОГЛЯД МОДЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ

1.1 Матеріали для модельних композицій та вимоги до них

До властивостей модельних композицій пред'являють комплекс вимог, які можуть мати істотні відмінності в залежності від конфігурації, розмірів і призначення виливків, необхідної розмірної точності і якості поверхні. Необхідно, щоб властивості композицій забезпечували отримання високоякісних моделей при одночасній технологічності (простоті їх приготування, зручності використання, можливості утилізації).

Нижче наведено найбільш універсальні вимоги до модельних складів.

Склад повинен точно відтворювати конфігурацію робочої порожнини прес-форми та її поверхні, не прилипати до прес-форми. Поверхня моделі має бути чистою, глянцевою.

Після затвердіння у прес-формі склад повинен мати твердість і міцність, достатні для того, щоб моделі не деформувалися і не розривалися на всіх технологічних операціях.

Усадка складу при охолодженні і розширення його при нагріванні мають бути мінімальними і стабільними.

Склад повинен бути простим у приготуванні, мати мінімальне число компонентів, бажано недорогих і недефіцитних.

Температура плавлення модельного складу має бути невисокою, в межах 60...100 °С. У цьому випадку полегшується виготовлення моделей і видалення їх з порожнини ливарних форм. Але температура початку розм'якшення складу має бути не нижче 32...35 °С, тобто на 10 °С перевищувати температуру приміщень, в яких виготовляють, зберігають моделі, складають їх у блоки і наносять на них суспензію.

Модельний склад повинен мати гарну рідкотекучість у розплавленому стані для полегшення виготовлення моделей і виплавлення їх із форм. Модельні композиції, які запресовуються в пастоподібному (в'язко-пластичному) стані,

повинні мати в цьому стані гарну рухомість, що дає змогу виготовляти моделі з чітким відтворенням контурів порожнини прес-форми при малих тисках пресування.

Тривалість затвердіння модельного складу в прес-формі має бути мінімальною.

Щільність складу має бути менше 1000 кг/м^3 . Це полегшує роботу з модельними блоками, зменшує небезпеку їх деформації під дією власної маси моделей, а під час виплавлення моделей в гарячій воді сприяє кращому вилученню модельного складу для повторного використання.

Хімічна взаємодія модельного складу з матеріалом прес-форм, а також із вогнетривкою суспензією є неприпустимою. При цьому модельний склад має добре змочуватися суспензією.

Зольність модельного складу має бути мінімальною.

Бажано, щоб модельний склад був придатним для багаторазового повторного використання, втрати його в процесі застосування були мінімальними, а технологічні властивості не погіршувалися при роботі і зберіганні.

Модельний склад у будь-якому стані (твердому, розплавленому, пастоподібному вигляді) має бути нешкідливим для здоров'я працюючих, також як і продукти його деструкції, що утворюються, наприклад, при прожарюванні форм. Відходи модельного складу мають не забруднювати навколишнє середовище.

Недостатня відповідність властивостей модельних композицій оптимальним властивостями є однією з найважливіших причин високої трудомісткості виготовлення моделей і складання блоків, невисокої розмірної точності виливків, значного браку моделей і дефектів оболонкових форм. Недоліки застосовуваних модельних композицій – одна з причин значних технологічних втрат на основних операціях процесу лиття за моделями, що витоплюються. Наочною характеристикою цих втрат служить коефіцієнт використання моделей, який на ряді підприємств не перевищує 0,5, що вказує на необхідність виготовлення не менше двох моделей для отримання одного придатного виливка. Зазначені вище обставини, а також сучасні вимоги до якості виливків, виготовлених методом лиття за

моделями, що витоплюються, є причинами безперервних робіт із вдосконалення застосовуваних і пошуку нових модельних композицій [1].

Переважну більшість композицій для виготовлення витоплюваних моделей становлять воскоподібні модельні склади.

Їх головні компоненти – парафіни, синтетичний віск, стеарин, буровугільний або гірський (монтановий) і торф'яний віск (бітум), складні ефіри вищих кислот; в окремих випадках (в даний час рідко, переважно в зарубіжній практиці) – натуральні воски (бджолиний, канділлєський, карнаубський).

Для позначення марки модельних композицій використовують скорочені позначення їх компонентів: П – парафін, С – стеарин, Ц – церезин, Б – буровугільний віск, Т – торф'яний віск, Пе – поліетилен, ПЕВ – поліетиленовий віск (низькомолекулярний поліетилен), К – каніфоль, Ко – кубовий залишок гарячого крекінгу парафіну, Св – сибірський віск, БН – бітум нафтовий, Е – етилцелюлоза. Наступні після літерних позначень цифри вказують відповідно середній відсотковий вміст (за масою) кожного з компонентів. Наприклад, у складі ПТЕ 70-25-5 міститься 70% парафіну, 25% стеарину і 5% етилцелюлози.

У початковій стадії промислового застосування процесу лиття за моделями, що витоплюються в СРСР широко використовували парафіно-стеаринові композиції ПС 50-50, ПС 70-30, ПСКм 65-32-3, ПТЕ 70-25, які мають хороші реологічні властивості і придатні для виготовлення моделей, як на машинах, так і за допомогою ручних шприців. Однак, зважаючи на низку істотних недоліків (мала міцність і теплостійкість; наявність дорогого, дефіцитного стеарину, схильного до взаємодії з розчинниками етилсилікату і обмилення в гарячій воді) ці легкоплавкі рецептури були пізніше в більшості цехів замінені більш економічними безстеариновими, застосування яких забезпечувало отримання більш міцних і теплостійких (отже, більш точних) моделей, які не взаємодіють з компонентами суспензії і водою під час витоплювання з оболонкових форм. Найбільш поширеними з другого покоління воскоподібних модельних композицій є ПЦБКо 70-12-13-5, ПБПсм 60-25-15, ПБТТе 25-35-35-5.

В останні роки отримали промислове застосування воскоподібні склади третього покоління, особливість яких полягає в тому, що до їхнього складу, крім парафіну та інших перерахованих вище головних компонентів, вводять синтетичні полімери, наприклад, поліетиленові воски ПВ-200 і ПВ-300, що поліпшують властивості композицій, в основному їх теплостійкість і міцність. До таких композицій належать МВС-15, ППК-1, Р-3, ИПЛ-2, ВІАМ-102, ПЦБ 62-25-13, які випускають централізовано.

Композиції з буровугільного воску (до 55% за масою) і церезину (15...45%) з добавкою 7...12% каніфолі широко використовували в Німеччині і Чехії. Для поліпшення технологічних властивостей до цих композицій додавали синтетичні воски, неочищений парафін, стеарин.

Композиції, які централізовано випускають у США і Англії, містять каніфоль, парафін, церезин; бджолиний, карнаубський та інші синтетичні воски; поліетилен, диглікольстеарат та інші продукти. Вони мають температуру краплепадіння 65...95 °С, міцність при статичному вигині 4,8...8,0 МПа, зольність 0,07...0,38%, вільну лінійну усадку 0,5...1,5%.

У воскові композиції з твердими наповнювачами вводяться порошки, наприклад, синтетичних смол або тугоплавких восків; густина їх близька до густини розплаву основи. Такі порошки утворюють тверду суспензію в розплавах основи складу, знижуючи і стабілізуючи усадку, отже, підвищуючи точність моделей, а також збільшуючи їх міцність і теплостійкість. Введення до розплаву воскоподібного модельного складу 10...15% порошку синтетичної смоли знижує вільну лінійну усадку цього складу при затвердінні з 1,5...2,0 до 0,5% [2].

У вітчизняній практиці лиття за моделями, що витоплюються, найбільш часто використовують парафін, церезин, буровугільний віск; торф'яний віск, каніфоль, карбамід, азотнокислі солі лужних металів, стеарин. Є досвід використання добавок поліетилену, етилцелюлози, дибутилфталату, полівінілового спирту.

Парафін – суміш твердих насичених (граничних) вуглеводнів метанового ряду C_nH_{2n+2} . Являє собою білу воскоподібну масу. Температура плавлення в межах

42...62 °С. Густина при 15 °С коливається від 881 до 915 кг/м³. Практично не розчиняється у зв'язувальних розчинах етилсилікату, у спиртах, але добре розчинний в ефірах, бензолі. Зольність не перевищує 0,1% по масі. Парафін – один з найбільш дешевих і недефіцитних компонентів модельних композицій. Він розм'якшується при температурі 30 °С, крихкий, має низьку міцність, схильний до спінювання в розплавленому стані і до утворення усадкових раковин при затвердінні, внаслідок чого його використовують для виготовлення моделей в суміші з іншими матеріалами.

Віск – суміш твердих вуглеводнів граничного (метанового) ряду, яку отримують кислотно-контактним очищенням нафтового неочищеного церезину, парафінистої пробки або їх суміші. Віск являє собою однорідну масу білого або жовтого кольору, яка не має запаху, без помітних механічних домішок, за зовнішнім виглядом нагадує природний віск.

Церезин випускають за ГОСТ 2488-79 чотирьох марок: 65, 70, 75 і 80. Марка церезину характеризує температуру його краплепадіння у °С. Для всіх марок встановлено наступні вимоги: відсутність води, водорозчинних кислот і лугів; не більше 0,02% масової частки механічних домішок, не більше 0,02% масової частки золи; температура кипіння вище 400 °С, а температура спалаху вище 260 °С; густина 910...940 кг/м³. Церезин має більш високу порівняно з парафіном температуру початку розм'якшення, менш схильний до деформації. Також, як і парафін, не вступає у взаємодію з гідролізованим розчином етилсилікату. До недоліків відносяться його порівняно невеликі міцність і твердість, мала пластичність, значна лінійна усадка (до 3,5%).

Буровугільний віск (монтан-віск, Монтані, гірський віск) – суміш складних вуглеводнів, яку отримують з бітумного бурого вугілля. Спочатку обробляють буре вугілля розчинником, потім відганяють останній, в результаті чого залишається буровугільний віск. Залежно від природи вихідного бурого вугілля, застосовуваного розчинника, а також особливостей процесу екстракції і подальшого оброблення воску властивості його можуть змінюватися в значних межах.

Воскова кристалічна основа забезпечує хороші механічні властивості і здатність відтворювати в моделях глянцеvu поверхню прес-форм, домішки підвищують міцність і теплостійкість. Буровугільний віск добре сплавляється з парафіном, церезином, торф'яним і деякими синтетичними восками, не взаємодіє з гідролізованими розчинами етилсилікату. Зольність буровугільних – 0,1%, температура краплепадіння 88...89 °С.

Торф'яний віск – складна суміш вуглеводнів і деяких їхніх похідних. Електронограми показують, що кристалічна частина його складається з воску і парафінів, а аморфна включає асфальтени і масла. Температура плавлення його не менше 70 °С, він добре сплавляється з парафіном, церезином, буровугільним воском. Асфальтени при нагріванні не розм'якшуються, а набухають, виділяють газоподібні продукти і спікаються, що підвищує твердість і крихкість композиції. З огляду на дефіцитність торф'яного воску, застосування його в модельних композиціях обмежене.

Стеарин – суміш твердих жирних кислот (стеаринова кислота $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ як основа з домішками пальмітинової та олеїнової). Отримують стеарин із тваринних жирів, а також з гідрованих рослинних олій розщепленням їх на жирні кислоти і гліцерин з подальшою дистиляцією жирних кислот або без неї. Стеарин у модельних композиціях має наступні істотні недоліки: взаємодіє з гідролізованим розчином етилсилікату, що призводить до утворення дефектів на поверхні виливків; омилюється при витоплюванні в гарячій воді. Крім того, вартість стеарину висока і він дефіцитний, оскільки є харчовим продуктом [3].

1.2 Види воску, використовувані в моделюванні

Інжекційний віск – основний вид модельної композиції, який використовується для тиражування виробів. Застосовують його у вигляді розплаву для інжекції в гумову прес-форму. Являє собою основу з натурального природного або штучного воску, а також хімічні сполуки і природні речовини, які додаються для

зміни фізичних і механічних властивостей (в'язкість, твердість, пружність, механічна пам'ять, рухомість розплаву, відокремлюваність від гумової прес-форми, швидкість застигання, усадка тощо). Випускається у вигляді блоків, плиток, лусочок або гранул. Луска і гранули більш зручні в повсякденній роботі, тому що легше завантажуються і швидше розплавляються в інжекторі. Середній термін зберігання від 6 до 12 місяців.

Вибір інжекційного воску на ринку останнім часом істотно розширився. Колір воску практично не впливає на його властивості. Деякі виробники, наприклад, F. E. Knight Castaldo, прагнуть для зручності споживачів кожен вид воску забарвити у свій унікальний колір. Однак це ніяк не пов'язано з логікою фарбування воску інших виробників. Ferris пропонує практично кожен з видів свого воску в різних кольорових гамах.

Композиції на основі натурального бджолиного воску дорожчі, ніж композиції на основі парафінів, але при цьому практично не відрізняються від них за властивостями.

Скульптурні воски. У разі, коли великі розміри виливків не дають змоги робити якісні воскові моделі за допомогою воскового інжектора, рекомендується використовувати метод прямого заливання розтопленого воску. При використанні звичайних інжекційних композицій на великих виробках найістотніше виявляються такі дефекти, як нерівномірна об'ємна усадка, бульбашки тощо. Щоб уникнути виникнення подібних проблем, рекомендується використовувати спеціальні скульптурні композиції, які годяться для ліплення, різьблення, прямого заливання тощо.

Віск для різьблення. На ринку представлено композиції торгових марок Ferris, Kerr і Matt. Як приклад, віск Ferris File-A-Wax випускається у трьох різних модифікаціях, які мають різні кольори: зелений, фіолетовий і синій. Віск випускається у вигляді блоків, брусків різного профілю, пластин, заготовок для кілець тощо.

Зелений віск – найбільш популярний для різьблення. Це найтвердіша композиція, на якій можливе прорізання найбільш тонких деталей і складних рельєфів, є можливість полірування до дзеркального блиску. Товщина воскових моделей може досягати менше 0,2 мм – абсолютний мінімум товщини, при якій взагалі можливим є процес лиття. При цьому модель залишається міцною і не схильна до деформації. Граничні параметри для використання даного воску – плоскі вироби товщиною менше 1 мм і діаметром не більше 38 мм, що перекриває практично весь діапазон ювелірних виробів. Композиція плавиться при 105 °С, практично відразу перетворюючись в легко рухому рідину, минаючи в'язку стадію. Застигання воску відбувається дуже швидко. Після застигання він стає більш м'яким і гнучким, але, як і раніше, залишається придатним для різьблення. Найбільш важливою особливістю зеленого воску є простота його оброблення терпугами, надфілями і бормашиною при високих обертах без оплавлення матеріалу.

Фіолетовий віск – найбільш універсальна композиція, застосовувана для різьблення. Матеріал більш гнучкий, ніж зелений, легше ріжеться ножом. Може оброблятися терпугом або бормашиною, однак інструменти досить швидко забиваються. Після плавлення фіолетовий віск стає в'язким, а потім перетворюється на рідину. Застиглий віск стає занадто гнучким і м'яким і вже не годиться для різьблення.

Синій віск – має високу гнучкість: що платівка товщиною 3 мм, після короткочасного занурення в киплячу воду, може бути вигнута в півколо. За властивостями віск найбільш відповідає деревині білої сосни. Ідеальний для різання ножом – на відміну від синього і фіолетового восків, утворює стружку. При плавленні поводить себе як аморфне речовина, поступово міняючи в'язкість з температурою. Оброблення терпугами і борами утруднене.

Віск для ліплення – можна ліпити, прокатувати, скручувати і штампувати, надаючи, таким чином, практично будь-яку форму. Ця композиція ліпиться і формується при температурі тіла. При кімнатній температурі вироби добре

тримають форму. Використовується для зняття зліпків з гравюр, гіпсових форм, орнаментів, як основа для «утоплення» деталей, вирізаних із твердого воску тощо.

Чорний віск – більш твердий. Температура плавлення 76 °С. Після охолодження стає твердим і годиться для різьблення.

Листовий віск – широко використовується стоматологами. Ювелірами в основному застосовується для зняття об'ємних зліпків з твердих предметів, потовщення моделей, для заміни листового металу для воскових моделей, а також у виробництві фантазійних моделей, випадково утворених із м'якого воску. Виготовляється з м'якого воску, який легко згинається і скручується. Профіль і товщина прокату можуть бути різноманітними.

Водорозчинний віск – крихка речовина, яка дуже важко обробляється і ріжеться. Плавиться при температурі 66...77 °С і може бути інжектований у прес-форму або залитий вручну. Через свою унікальну здатність розчинятися у воді без залишку, даний віск дуже популярний серед модельєрів. Використовується як основа для формування об'ємного виробу з воскового прокату, наплавлення на поверхню різних видів воску тощо. Зовнішня частина заготовки, виготовленої з водорозчинного воску, є внутрішньою поверхнею готового виробу. Після прорізання моделі, віск легко і швидко розчиняється в теплій воді. При zalivanні або інжекції в форму, віск точно відтворює її поверхню. При подальшому zalivanні звичайного воску і розчиненні основи легко отримати тонкостінну воскову модель.

Віск для воскового пістолета – пістолет розтоплює восковий стовпчик і видавлює його через філь'єру певної форми. Існує три види воску, що розрізняються за властивостями:

- блакитний віск використовується переважно для нанесення на об'єкти або формування в об'ємі;
- зелений віск – має найнижчу в'язкість, тому його найкраще використовувати для створення ефектів на водній поверхні.
- червоний віск – для плетіння, макраме тощо [4].

Віск для ремонту воскових моделей. У деяких випадках (відколи, внутрішні бульбашки, груба поверхня), потрібно загладити або усунути дефекти на поверхні воскової моделі. З цією метою випускаються дуже м'які композиції Utility Wax у вигляді листів, стрижнів або блоків, а також віск Patch-Eze у вигляді густого крему.

Липкий віск. Швидкотвердний восковий «припій», який створює міцне зчеплення між будь-якими двома восковими поверхнями. Ідеальна температура накладення 107...135 °C.

Будь-який модельний віск являє собою однорідну суміш двох-трьох компонентів, яка має достатню пластичність і міцність[5].

1.3 Виготовлення воскових моделей і контроль їх якості

Виготовлення моделей полягає в подачі в гумову прес-форму розплавленої воскової композиції з подальшим її затвердінням. Таким чином, виготовляється репродукція з воску. За допомогою цієї моделі в подальшому готується металева модель або безпосередньо сам виріб. Перед заповненням гумову прес-форму слід посипати тальком або силіконовою сумішшю, що полегшує вилучення моделей.

Для того, щоб віск заповнив прес-форму необхідно, щоб він подавався в неї під тиском. Тиск може бути створено стисненням повітрям або відцентровою силою. Іншим важливим фактором, який впливає на якість моделі, є температура воску, яка має бути трохи вище температури затвердіння. Половинки гумових прес-форм мають бути щільно притиснуті. Розплавлений і гарячий віск за допомогою воскового інжектора під тиском подається в гумову форму. Хороший інжектор повинен гарантувати постійну температуру і тиск. Для дрібних моделей використовують інжектори з ручним насосом, для великих – з компресором. Інжектори з попереднім вакуумуванням прес-форми перед заповненням модельною композицією забезпечують хорошу заповнюваність для тонких філігранних виробів, також додатково очищують її від дрібного сміття та пилу.

При використанні інжектора необхідно враховувати, що температура воску має великий вплив на якість моделей. Температура має бути такою, щоб віск переходив у твердий стан при контакті з холодними стінками прес-форми.

Заповнену модельною композицією прес-форму витримують 1...2 хв до її охолодження, після чого з роз'єднаної прес-форми обережно витягують воскову модель. Як правило, перед складанням моделей в «ялинку» проводиться доведення восків. Це зменшує час, необхідний для фінішного оброблення виробу. Оброблення може бути виконано металевим лезом, нерівності поверхні моделі зняті щіткою або розчинником, наприклад, тетрахлоридом вуглецю.

У деяких випадках рекомендується для стояків використовувати віск, відмінний від воску, з якого виготовлено моделі виливків. Він має плавитися при температурі нижчій, ніж приєднані до нього моделі.

Для складання моделей у блоки використовують воскові стояки з металевим стрижнем всередині. Їх роблять з оборотної модельної композиції після витоплювання моделей. На стояк припаюють моделі, в результаті чого утворюється блок – «кущ» або «ялинка». Блок встановлюють на гумову підставку, а потім промивають в 5%-му розчині сульфону або в мийних засобах для синтетичних виробів. Сушать блоки потоком повітря до повного зникнення вологи з поверхні моделей.

Після витоплювання моделей і прожарювання форми модельна композиція має не залишати відходів у вигляді сажі. Такі відходи можуть бути причиною дефектів поверхні виливків, включаючи пористість. Простим способом визначити, чи залишає віск відходи у вигляді сажі, є розміщення зразка в кремнеземний тигель і проведення з ним повного циклу відпалу. Якщо в тиглі залишається чорний осад, то це вуглець, який містився у воску.

Для виготовлення порожнистих моделей використовують метод вільного заливання розтопленого воску у прес-форму. Цей метод є найбільш простим. Складні тонкостінні і великі моделі з парафіново-стеаринових композицій відливають при температурі 80...90 °С, середні за розмірами і складністю моделі –

при 70...75 °С. Температуру і тривалість заливання встановлюють дослідним шляхом.

Для розплавлення модельного складу і підтримки його температури в заданих межах застосовують водяні, гліцеринові або масляні лазні з пристроєм для автоматичного регулювання температури. Для заливання використовують ковші з корозійностійкої сталі або порцелянові. Заливають спокійно, по стінці ливникового каналу або через лійку, вставлену в ливниковий отвір і підігріту до температури модельного складу. Це дає змогу знизити втрати тепла модельного складу, усунути швидке затвердіння його в ливниковій системі і поліпшити живлення моделі розплавом, який знаходиться у воронці. Щоб уникнути розбризкування і спінювання модельного складу, останній іноді заливають по скляному, фарфоровому або сталевому стрижню діаметром 4...6 мм.

При охолодженні і затвердінні в прес-формі рівень розплаву у воронці швидко знижується і для компенсації усадки необхідно доливати модельний склад. Ливниковий хід у прес-формі слід виконувати досить потужним, коротким і простим за формою.

Вільним заливанням розплаву модельної композиції отримують як суцільні, так і порожнисті моделі.

Застосування порожнистих моделей має такі переваги: підвищується точність виливків за формою і розмірами, скорочується час виготовлення моделей, так як витримка в прес-формі зменшується приблизно у 3 рази, зменшується маса модельного блоку, усувається розтріскування оболонки внаслідок розширення моделей під час виплавлення, скорочується час виплавлення. Порожністі моделі доцільно застосовувати при виготовленні виливків з товщиною стінок понад 10 мм, а також виливків, які мають масивні частини.

Таким чином, при виготовленні порожнистих моделей необхідно враховувати два найважливіших чинники: точність і міцність. Застосування модельних композицій підвищеної міцності дає змогу зменшити товщину стінки моделей до 2 мм.

Гумові прес-форми потрібно зберігати у темному місці, наприклад, в ящику або шафі, захищеній від потрапляння пилу і яскравого світла. Велика частина видів гуми розкладається, якщо виставлена на сонячне світло. Використання пошкодженої форми не дає ніяких переваг, так як вона призведе до появи дефектних моделей і збільшить вартість фінішного оброблення прикраси після лиття.

Перед монтажем «ялинок» воскові моделі необхідно ретельно оглянути. Дефектні мають бути вилучені для запобігання втрати часу в процесі наступних циклів оброблення та ремонту дефектів.

Повторно не використовують старі або дефектні восківки, навіть якщо є можливість повернути у виробництво чистий віск із центрального ливника, так як він має негативний вплив на якість виливків. Ніколи не повертають у цикл виплавлений віск. Плавлячись кілька разів, він деградує і може збирати пил і частинки формомаси.

Краще готувати свіжі воскові моделі. Після виготовлення, до монтажу на «ялинку», моделі мають зберігатися на підносі в прохолодному місці. Не використані восківки мають бути захищені від пилу і перебувати під кришкою або в ящику.

Важливу роль відіграють положення і розміри каналів ливникової системи – вони впливають на потік металу, напрямок твердіння і можливість утворення усадкових пор. Для уникнення усадки, недоливів або інших ливарних дефектів, використовують живильники з круглим перерізом, а не з квадратним або конічним.

При монтажі «ялинок» намагаються уникати монтажу на одному блоці моделей з різною формою, розмірами і масою. Якщо це неможливо, найбільш дрібні встановлюють зверху, великі – внизу блоку (під час заливання вони будуть зверху). За традицією воскові моделі монтуються під кутом 30...45° по відношенню до горизонту (при вертикальному положенні блоку). Ця умова є ідеальною при заповненні форми методом центрифугування.

Моделі не розташовують дуже близько одна до одної. Це дає змогу уникнути небезпечно високих для формомаси температур при литті розплавленого металу.

Якщо стінка форми між моделями занадто тонка, то буде сильно перегріватися і може послужити причиною пористості або поганої якості поверхні виливків. При монтажі на стояку воскові моделі мають розташовуватися по спіралі, а не по вертикальній лінії. У разі невеликої кількості виробів можна використовувати горизонтальне розташування.

Місця пайки, в яких моделі прикріплюються до стояка, мають бути гладкими, без кутів, так як це може утруднити протікання рідкого металу в виливок і спричинити за собою неметалеві вкраплення через руйнування формомаси в зоні звуження при литті рідкого металу[6].

Під час виготовлення воскових моделей утворюються наступні дефекти. Неспай – слід неповного з'єднання потоків воску. Для усунення дефекту потрібно нанести на форму розділового покриття у вигляді тальку або незначною мірою підвищити тиск запресовування та температуру модельної композиції.

Недолив – неповне заповнення воском прес-форми. Для усунення даного дефекту необхідно збільшити тиск запресовування або температуру воску. Причиною також може бути забруднена порожнина прес-форми.

Залив – віск, який потрапив у площину роз'єму прес-форми. Причиною є як слабе притискання форми, так і пережим. Надлишковий тиск пресування модельної композиції також є небажаним.

Перекіс – зсунуті фрагменти форми. Виникає в різних (по всьому периметру) прес-формах через неточне центрування напівформ.

Засмічення в моделях – усувають виключенням використання забруднених модельних матеріалів і звороту модельного складу, забруднених прес-форм; моделі не потрібно зберігати в запиленому приміщенні.

Деформація моделей - Необхідно збільшити час витримки моделі до вилучення з прес-форми; не зберігати довго моделі перед їх складанням.

Бульбашки і спучування можуть бути виявлені при розгляді восківки на світлі. Якщо бульбашки правильної форми, вони виникли внаслідок насичення воску

повітрям в розплавленому стані. Цей дефект усувається вакуумуванням воску. Якщо бульбашки мають неправильну форму, то їх причиною є усадкові процеси.

Неякісна поверхня – недбале зачищення і зберігання моделей, надлишок або недолік тальку.

Тріщини на моделях – інтенсивне охолодження прес-форм, тривала витримка моделей перед вилученням із прес-форм.

Усадка – об'ємне і лінійне зменшення воскової моделі при охолодженні. Залежить від модельного складу і його температури. Для усунення дефекту потрібно вибирати композиції з постійною низькою усадкою, встановити температуру запресовування максимально можливо низьку. Використовуючи охолоджену прес-форму, можна зосередити усадкову пористість всередині моделі [7].

1.4 Технології 3D-друку воскових моделей

3D-друк – це виконання ряду повторюваних операцій, пов'язаних із створенням об'ємних моделей шляхом нанесення на робочий стіл установки тонкого шару витратних матеріалів, зміщенням робочого столу вниз на висоту сформованого шару і видаленням з поверхні робочого столу відпрацьованих відходів. Цикли друку безперервно слідуєть один за одним: на попередній шар матеріалів наноситься наступний шар, стіл знову опускається і так повторюється до тих пір, поки на елеваторі (так називають робочий стіл, яким оснащений 3D принтер) не опиниться готова модель.

Існує кілька технологій 3D-друку, які відрізняються одна від одної за типом матеріалу і способами його нанесення. У даний час найбільшого поширення набули такі технології 3D-друку: стереолітографія, лазерне спікання порошкових матеріалів, технологія струменевого моделювання, пошаровий друк розплавленою полімерною ниткою, технологія склеювання порошків, ламінування листових

матеріалів і ультрафіолетове опромінення через фотомаску. Охарактеризуємо перераховані технології докладніше [8].

Стереолітографія (вона ж StereoLithographyApparatus або скорочено SLA) завдяки низькій собівартості готових виробів набула найбільшого розповсюдження серед технологій 3D-друку. Технологія SLA полягає в наступному: сканувальна система направляє на фото полімер лазерний промінь, під дією якого матеріал твердне. Як фото полімер використовують крихкий і твердий напівпрозорий матеріал, який жолобиться під дією атмосферної вологи. Матеріал легко склеюється, оброблюється і забарвлюється. Робочий стіл знаходиться в ємкості з фото полімерною композицією. Після проходження лазерного променя і затвердіння чергового шару його робоча поверхня зміщується вниз на 0,025...0,300 мм (рис. 1.1).

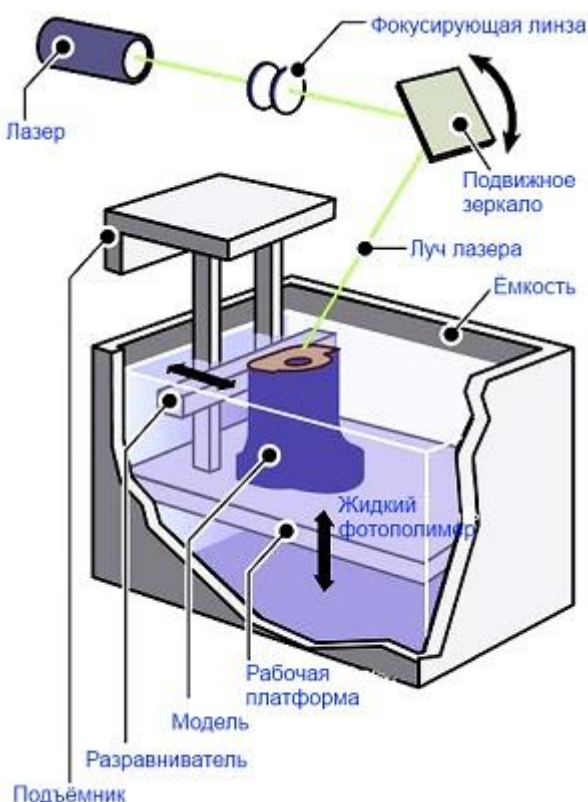


Рисунок 1.1 – SLA технологія

Устаткування для SLA-друку виготовляють компанії F&S Stereolithographietechnik GmbH, 3D-System, а також Інститут проблем лазерних та інформаційних технологій РАН.

Лазерне спікання порошкових матеріалів (воно ж Selective Laser Sintering або просто SLS) є єдиною технологією 3D-друку, яка може бути використана для виготовлення металевих елементів для металевого і пластмасового литва. Пластмасові прототипи мають гарні механічні властивості, завдяки яким вони можуть бути використані для виготовлення повнофункціональних виробів.

У SLS-друку (рис. 1.2) використовують матеріали, близькі за своїми властивостями до конструкційних марок: метал, кераміка, порошковий пластик. Порошкові матеріали наносяться на поверхню робочого столу і запікаються лазерним променем у твердий шар відповідного перерізу 3D-моделі, який визначає її геометрію.

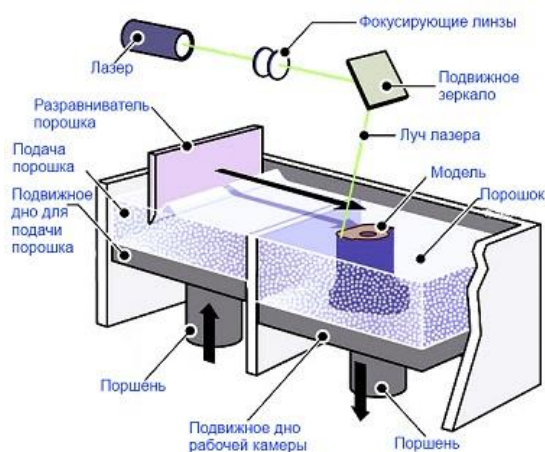


Рисунок 1.2 – SLS технологія

Устаткування для SLS-друку виготовляють такі заводи: 3D-Systems, F&S Stereolithographietechnik GmbH, TheExOneCompany / Prometal, EOS GmbH.

Пошаровий друк розплавленою полімерною ниткою (технологія Fused Deposition Modeling або просто FDM, рис. 1.3) застосовується для отримання одиничних виробів, наближених за своїми функціональними можливостями до серійних виробів, а також для виготовлення форм для лиття металів.

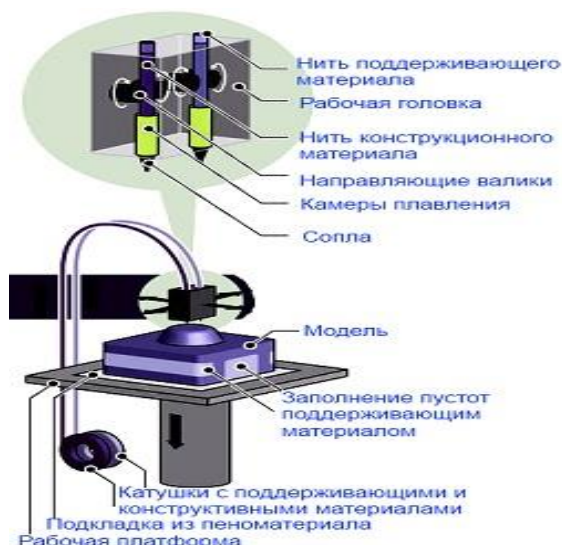


Рисунок 1.3 – FDM технологія

Технологія FDM-друку полягає в наступному: головка з контрольованою температурою розігріває до напіврідкого стану нитки з АВС пластику, воску або полікарбонату, і з високою точністю подає отриманий термопластичний матеріал тонкими шарами на робочу поверхню 3D-принтера. Шари наносяться один на одного, з'єднуються між собою і тверднуть, поступово формуючи готовий виріб.

У даний час 3D-принтери з технологією FDM-друку виготовляються компанією Stratasys Inc.

Технологія моделювання або Ink Jet Modeling має наступні запатентовані підвиди: 3D-Systems (Multi-Jet Modeling або MJM), Poly-Jet (Objet Geometries або Poly-Jet) і Solid Scape (Drop-On-Demand-Jet або DOD-Jet).

Перераховані технології функціонують за одним принципом, але кожна з них має свої особливості. Для друку використовують підтримувальні і модельні матеріали (рис. 1.4). До числа підтримувальних матеріалів найчастіше відносять віск, а до числа модельних – широкий спектр матеріалів, близьких за своїми властивостями до конструкційних термопластів. Головка 3D-принтера наносить, підтримує і моделює матеріали на робочу поверхню, після чого проводиться їх фотополімеризація і механічне вирівнювання.

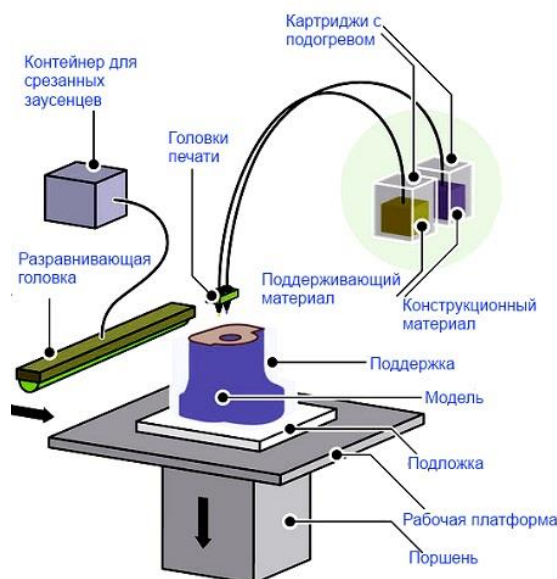


Рисунок 1.4 – Технологія струменевого моделювання

Технологія струменевого моделювання дає змогу отримати пофарбовані і прозорі моделі з різними механічними властивостями: це можуть бути як м'які, гумоподібні вироби, так і тверді, схожі на пластики.

Принтери для 3D-друку з використанням технології струменевого моделювання виготовляють такі компанії: Solid Scape Inc, Objet Geometries Ltd, 3D-Systems.

Технологія склеювання порошків (вона ж Binding powder by adhesives) дає змогу не просто створювати об'ємні моделі, а й розфарбовувати їх.

Принтери з технологією Binding powder by adhesives використовують два види матеріалів: крохмально-целюлозний порошок, з якого формується модель, і рідкий клей на водній основі, яким проклеюють шари порошку. Клей надходить з друкувальної головки 3D-принтера, пов'язуючи між собою частинки порошку і формуючи контур моделі. Після завершення друку надлишки порошку видаляються. Щоб надати моделі додаткової міцності, її порожнини заливаються рідким воском.

В позиціях 1-2 (рис. 1.5) ролик наносить тонкий шар порошку на робочу поверхню; 3 – струменева друкувальна головка друкує краплями зв'язувальної

рідини на шарі порошку, локально зміцнюючи частину суцільного перерізу; 4 – процеси 1-3 повторюються для кожного шару до готовності моделі.

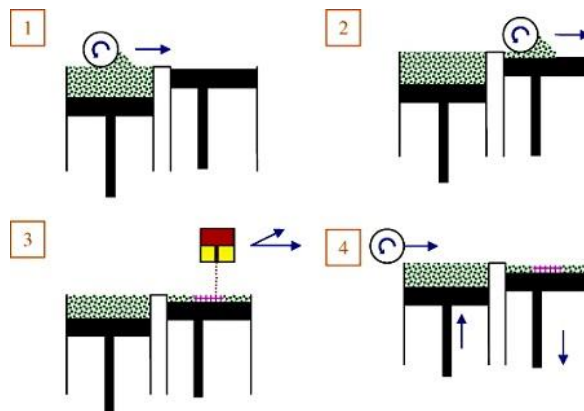


Рисунок 1.5 – Технологія склеювання порошків

На даний час 3D-принтери з технологією склеювання порошків виготовляються компанією Z Corporation.

Ламінування листових матеріалів (воно ж Laminated Object Manufacturing або LOM) передбачає виготовлення 3D-моделей із паперових аркушів за допомогою ламінування (рис.1.6). Контур чергового шару майбутньої моделі вирізається лазером, а непотрібні обрізки ріжуться на невеликі квадратики, які згодом видаляються з принтера. Структура готового виробу схожа на дерев'яну, але боїться ВОЛОГИ.

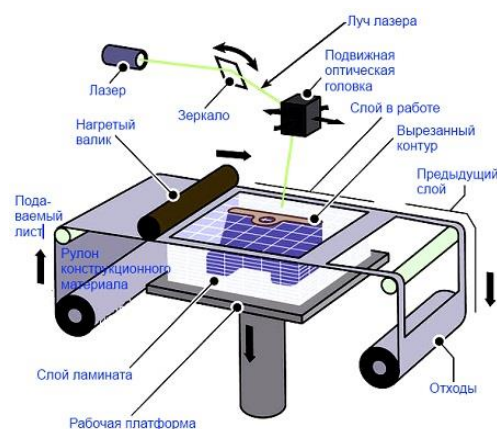


Рисунок 1.6 – Технологія ламінування листових матеріалів

До недавнього часу 3D-принтери для ламінування листових матеріалів виробляла компанія Helisys Inc, але в даний час компанія припинила випуск такого устаткування [9].

Опромінення ультрафіолетом через фотомаску (воно ж Solid Ground Curing або SGC) передбачає створення готових моделей з шарів розпорошених на робочу поверхню фоточутливих пластиків (рис. 1.7). Після нанесення тонкого шару пластика він через спеціальну фотомаску із зображенням чергового перерізу оброблюється ультрафіолетовими променями. Невикористаний матеріал видаляється за допомогою вакууму, а затверділий матеріал повторно опромінюється жорстким ультрафіолетом. Порожнини готового виробу заповнюються розплавленим воском, який служить для підтримки наступних шарів. Перед нанесенням наступного шару фоточутливого пластика попередній шар механічно вирівнюється.

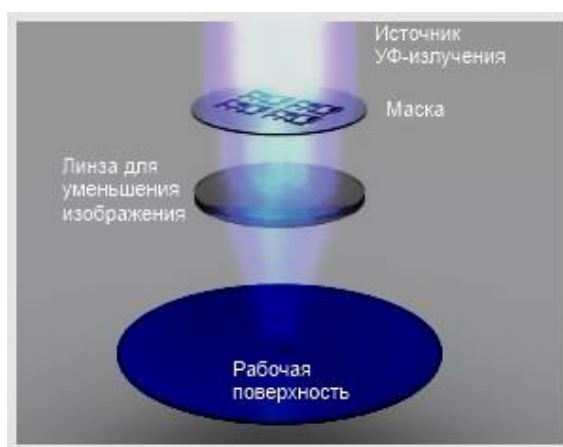


Рисунок 1.7 – Технологія опромінення ультрафіолетом через маску

До недавнього часу 3D-принтери з технологією опромінення УФ-лампою через фотомаску випускала компанія Cubital Inc, але в даний час виробництво таких машин припинено.

Точність створення прототипів різними 3D-принтерами знаходиться в діапазоні між 0,05 мм і 0,2 мм по кожній координаті. Точність створення прототипів збільшується при зменшенні товщини шару, але при цьому падає швидкість друку і

підвищується її собівартість. У свою чергу, собівартість прототипу залежить від його обсягу. Залежно від обраної технології 3D-друку ціна 1 см³ моделі становить від 1 до 5 \$ США [10].

1.5 Висновки і постановка задач

Модельні композиції, призначені для 3D-друку, значною мірою відрізняються від композицій, які використовують у традиційних технологіях лиття за моделями, що витоплюються. До них не виставляються вимоги щодо чіткого відтворення контурів робочої порожнини прес-форми з мінімальною шорсткістю поверхні. Також вони не мають володіти значною рухливістю в пастоподібному стані.

З іншого боку, для успішного створення воскової разової моделі на 3D-принтері композиція повинна мати ряд спеціальних властивостей: рідкотекучість, швидке твердіння, певну температуру плавлення.

Розроблення подібних композицій у світі триває, і на сьогодні жодна із них не може вважатися досконалою. Одні із них мають високий рівень властивостей, які дають змогу швидко надрукувати точну модель, але є складнощі з їх формовкою та витоплюванням. Використання же відомих воскових композицій навпаки забезпечує якісне формоутворення, але не зовсім придатне для 3D-друку.

Додавання високополімерних сполук до складу модельних композицій є основним способом вирішення задачі. Крім цього, для забезпечення швидкого розплавлення і твердіння, використовують полімери, які значною мірою відрізняються за температурами плавлення. Про склад і властивості цих полімерів відомо дуже мало. Тому на першому етапі необхідно дослідити напрацювання світових виробників 3D-композицій, а тільки після цього переходити до розроблення власної рецептури.

З незначних літературних даних, які наявні на сьогодні, та власних спостережень для розроблення модельної композиції вибрано три компоненти полімерного типу, які мають температури плавлення в широкому діапазоні (від 30 °C до 260 °C).

Метою роботи є створення композиції для виготовлення ливарних витоплюваних моделей методом 3D-друку.

Задачі:

1. Дослідити склад наявних модельних композицій для 3D-друку.
2. Проаналізувати властивості наявних модельних композицій, методи їх визначення та визначити параметри оптимізації.
3. Вибрати матеріали для створення нової модельної композиції.
4. Провести планування експерименту, підготувати проби різного складу та визначити їх основні властивості.
5. Виконати оптимізацію складу модельної композиції.
6. Відтворити із розробленої композиції партію моделей для ювелірного литва та виготовити за цими моделями виливки.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вступ

Невід'ємною частиною організації праці і виробництва є охорона праці. Вона вимагає створення таких умов трудової діяльності, при яких виключається вплив на працюючий персонал небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Крім того, охорона праці включає організаційні і технічні заходи, спрямовані на усунення причин травматизму і захворювань робітників та службовців на виробництві, створення для них безпечних умов, поступову ліквідацію шуму і вібрацій, запиленості виробничих приміщень, будівництво і реконструкцію санітарно-побутових приміщень, поліпшення забезпечення робітників засобами індивідуального захисту. Усе це в комплексі підвищує продуктивність праці людини і зберігає її здоров'я [14].

Метою розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» є аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які існують при дослідженні модельних композицій. Досягається це опрацюванням питань техніки безпеки, виробничої санітарії, пожежної безпеки в умовах, пов'язаних з темою роботи.. Тому слід розглянути фактори, та чинники, які можуть негативно відобразитися на самопочутті, здоров'ї людини та призвести до виникнення професійних захворювань.

Тема роботи: модельні композиції для 3D-друку. Метою роботи є підбір оптимального складу модельної композиції.

5.2 Аналіз параметрів мікроклімату в приміщенні

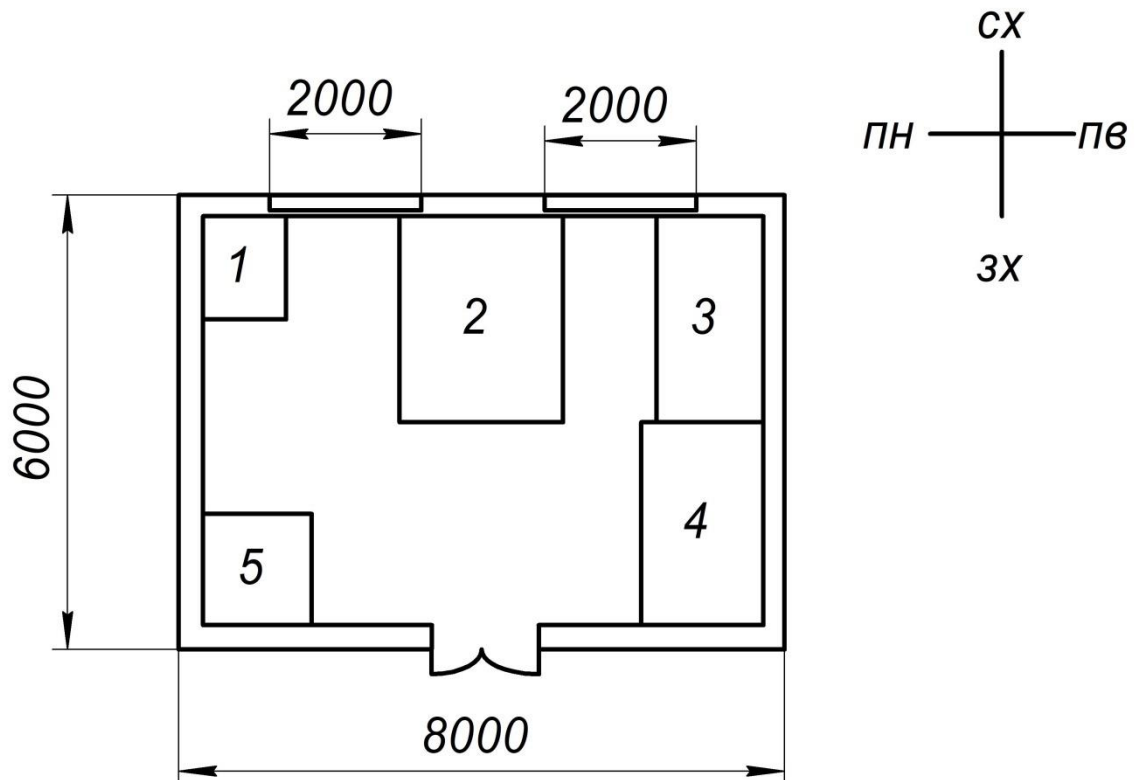
Робота проводиться на приватному підприємстві «Черниш С.В.», характеристики приміщення в якому знаходиться робоче місце зведені в табл. 4.1.

Таблиця 5.1 – Параметри науково-дослідної лабораторії

Довжина, м	8
Ширина, м	6
Висота, м	3,2
Площа, м. кв.	48
Об'єм, м. куб.	153,6

Відповідно до основних вимог до будівель виробничого призначення, які викладені в СНиП 2.09.02-85 [16], висота виробничих приміщень повинна бути не менше 3,2 м, а об'єм і площа – 15 м^3 та $4,5 \text{ м}^2$ відповідно на кожного працівника.

В нашому випадку площа приміщення складає $S = 8 \cdot 6 = 48 \text{ м}^2$, а об'єм приміщення $V = 48 \cdot 3,2 = 153,6 \text{ м}^3$. Під час досліджень в лабораторії працює 2 людини, звідки ми отримуємо, що площа на одну людину складає $S_{\text{ч}} = 48/2 = 24 \text{ м}^2/\text{чол.}$, а об'єм – $V_{\text{ч}} = 153,6/2 = 76,8 \text{ м}^3/\text{чол.}$



1 – робочий стіл з віскозиметром Віка; 2 – робочий стіл з приладом для визначення в'язкості; 3 – робочий стіл з 3D-принтером; 4 – робочий стіл з приладом для визначення часу тужавіння; 5 – прилад для визначення температури плавлення.

Рисунок 4.1 – План лабораторії

Отже, згідно СНиП 2.09.02-85, приміщення за геометричними параметрами відповідає основним вимогам до будівель виробничого призначення. План приміщення представлений на рис.4.1.

Робота, яка виконується у лабораторії, відноситься до категорії середньої важкості Па, оскільки робота пов'язана з ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів або предметів у положенні сидячи або стоячи і які потребують незначного фізичного напруження. Енерговитрати організму становлять 151...200 ккал/год. Значення показників температури, відносної вологості та швидкості руху повітря для категорії робіт середньої важкості Па у лабораторії 02 відповідають допустимим вимогам встановлених для постійного робочого місця в холодний та теплий період року.

Дані умови мікроклімату виконуються завдяки встановленому водяному опаленню у холодний період року та штучній припливно-витяжній вентиляції у теплий період року. При роботі обладнання відбуваються деяке відхилення параметрів мікроклімату від оптимальних, зазначених у табл. 4.2, однак вони знаходяться у допустимих межах, встановлених ДСН 3.3.6.042-99 [17].

Таблиця 5.2 – Параметри мікроклімату

Категорія робіт	Параметр мікроклімату	Період року	Нормовані значення мікроклімату ДСН 3.3.6.042-99		Дані вимірювань	Висновки
			оптим.	допуст.		
Середньої важкості	Температура, °C	холодний	18...20	17...23	17	допуст.
		теплий	21...23	18...27	22	оптим.

Па	Відносна вологість повітря, %	холодний	40...60	75	73	допуст.
		теплий	40...60	65	58	оптим.
	Швидкість руху повітря, м/с	холодний	0,2	Не більше ніж 0,3	0,1	оптим.
		теплий	0,3	0,2...0,4	0,2	допуст.

Отримані дані вимірювань параметрів мікроклімату показали, що показники не виходять за межі допустимих значень для холодного періоду року, а для теплого періоду є оптимальними.

5.3 Аналіз освітленості приміщення

В приміщенні використано два типи освітлення: природне та штучне. Природне освітлення добре впливає не тільки на зір, а також тонізує організм людини в цілому, сприяє гарному психологічному стану. Нормування параметрів освітлення здійснюється за ДБН В.2.5-28-2006. Нормоване значення КПО, e_N , для будинків, розташованих в різних районах, слід визначати за формулою

$$e_N = e_n \cdot m_N, \quad (5.1)$$

де e_n – значення КПО, що становить 1,2 за таблицями 1 і 2 ДБН В.2.5-28-2006;

m_N – коефіцієнт світлового клімату становить 0,90 за таблицею 4 ДБН В.2.5-28-2006;

N – номер групи забезпеченості природним світлом за таблицею 4 ДБН В.2.5-28-2006.

$$e_N = 1,2 \cdot 0,9 = 1,08 \%$$

Попередній розрахунок природного освітлення полягає у визначенні площі світлових отворів, що мають забезпечити в приміщенні нормативні значення КПО. При боковому освітленні розрахунок проводиться за формулою:

$$100 (S_B/S_P)=(e_N \cdot k_3 \cdot \eta_B \cdot k_{\text{буд}})/(\tau_{\text{заг}} \cdot r) \quad (5.2)$$

де S_B, S_P – площі вікон і підлоги у приміщенні;

e_N – нормативний коефіцієнт природного освітлення;

k_3 – коефіцієнт запасу, враховує зниження світлопропускання вікон і середовища у приміщенні, $k_3 = 1,2 \dots 1,5$. Приймаємо $k_3 = 1,35$;

η_B – світлова характеристика вікон, залежить від відношення розмірів приміщення у (довжини до глибини та глибини до висоти від рівня робочої поверхні до верхнього краю вікна), $\eta_B = 6,5 \dots 66,0$. Приймаємо $\eta_B = 8$;

$k_{\text{буд}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, які розташовані напроти (залежить від відношення відстані між будівлями до висоти карнизу протилежного будинку над підвіконником вікна

будинку, що розглядається), $k_{\text{буд}} = 1,0 \dots 1,7$. Приймаємо $k_{\text{буд}} = 1,35$;

$\tau_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт світлопропускання;

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (5.3)$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу, оскільки в лабораторії скло віконне подвійне листове, то $\tau_1 = 0,8$;

τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі, (рами віконні дерев'яні подвійні окремі) $\tau_2 = 0,6$;

τ_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у несучих конструкціях (при боковому освітленні $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях, (регульовані жалюзі та штори) $\tau_4 = 1$;

τ_5 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями, $\tau_5 = 1$.

r – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення та прилеглих будівель, (за таблицею 3.7)[1] $r = 1,35 \dots 1,3$.

(коефіцієнти τ_1, τ_2, τ_4 визначалися за таблицею 3.6 [1])

$$100 (15/48)=(e_N \cdot 1,35 \cdot 8 \cdot 1,35)/(0,8 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3)$$

$$12,5=14,58 \ e_N/0,624$$

$$e_N=0,53$$

Оскільки отримане за формулою (5.2) значення КПО менше за значення встановлене ДБН В.2.5-28-2006, то у денний період потрібно застосовувати сумісне освітлення [4].

Штучне освітлення в приміщенні здійснюється системою загального рівномірного освітлення в комбінації з місцевим освітленням. Як джерела світла при штучному освітленні застосовуються світильники типу ЛПО-01 з люмінесцентними лампами типу ЛБ. Світильники розташовані в два ряди.

Загальне освітлення виконано у вигляді переривчастих ліній світильників, розташованих збоку від робочих місць, паралельно лінії зору користувача при рядному розташуванні обладнання.

Лабораторія не є виробничим приміщенням і норма штучного освітлення складає 400 лк. Ця лабораторія має довжину 15 м, ширину 8 м, висоту 4 м та 4 вікна. В якості світлових пристроїв в лабораторії встановлені світильники типу ЛПО-01. В кожному світильнику встановлено 2 лампи типу ЛБ потужністю 40 Вт кожна, світловий потік якої становить $F=3200$ лм [1]. Світильники розміщені на висоті 118 мм від стелі. Площа лабораторії складає 120 м^2 .

Показник приміщення:

$$i=AB/(h(A+B)), \quad (5.4)$$

де A і B – довжина та ширина приміщення, м;

h – висота підвісу світильників над рівнем робочої поверхні, м.

Визначаємо висоту підвісу світильників над підлогою:

$$h_0=H-h_c=3,2 - 0,118=3,082 \text{ м}, \quad (5.5)$$

де H – висота стелі, м;

h_c – відстань від світильника до стелі, м.

Висота встановлення світильників розсіяного світла відповідно до ДБН В.2.5- 28-2006 повинна бути не менше 3 м при світловому потоці джерела світла до 6000 лм. В нашому випадку h_0 відповідає цій вимозі.

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею дорівнює:

$$h=h_0-h_p=3,082-0,8=2,282 \text{ м}, \quad (5.6)$$

де h_p – висота робочих поверхонь (столів), $h_p = 0,8 \text{ м}$;

h_0 – висота підвісу світильників над підлогою, м.

$$i = 15 \cdot 8 / (3,082 \cdot (15+8)) = 1,69$$

За таблицею 3.26 [1] коефіцієнт використання світлового потоку (η) з люмінесцентними лампами для типу світильника ЛПО-01 при $\rho_{\text{стелі}} 70\%$ і $\rho_{\text{стін}} 50\%$ і при $i = 1,69$ дорівнює $= 58 \%$.

Розрахунок проводимо за формулою:

$$E = F \cdot N \cdot \eta / k_z \cdot S \cdot Z, \quad (5.7)$$

де F – світловий потік світильника, лм, $F = 3200 \text{ лм}$;

N – кількість світильників – 8 шт. і в кожному по 1 лампи;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, призначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення i , коефіцієнтів відбиття стін та стелі $\eta=0,58$ (за таблицею 3.26 [1])

k_z – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп, $k_z=1,3$;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $Z = 1,1$ – при використанні люмінісцентних ламп.

$$E = 3200 \cdot 8 \cdot 0,58 / 1,3 \cdot 48 \cdot 1,1 = 216 \text{ лк}$$

Для забезпечення нормованих значень освітленості в приміщенні потрібно проводити чищення скла віконних рам і світильників не рідше двох разів у рік і проводити своєчасну заміну перегорілих ламп.

Недостатність освітлення призводить до напруження зору, послаблює увагу, призводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає осліплення, роздратування і різь в очах. Неправильний напрямок світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, тому настільки важливий правильний розрахунок освітленості.

5.4 Аналіз рівня шуму

У лабораторії є джерела шуму: 3D-принтер, прилад для визначення текучості.

За часовою характеристикою шум відноситься до непостійного переривчастого. При переривчастому шумі рівень звуку може різко падати до фонового рівня, а довжина інтервалів, коли рівень залишається постійним і перевищує фоновий рівень, досягає 1 с та більше. За походженням шум поділяється на електромагнітний (джерело – електроустаткування) та механічний (джерело – гідравлічні преси). При одночасній роботі всього устаткування рівень шуму може перевищувати допустимі норми ДСН 3.3.6.037-99[18], що призводить до виникнення профзахворювань.

Шум може викликати різні загально біологічні подразнення, патологічні зміни, функціональні розлади та механічні ушкодження. Під час роботи в шумних умовах продуктивність ручної роботи може знизитись до 60%, а при розрахунках – до 50%. При тривалій роботі в шумних умовах перш за все уражаються нервова та серцево-судина система та органи дихання.

Для зменшення шкідливого впливу виробничого шуму на працівників шумних виробництв застосовують звуко- і віброізоляцію, звуко- і вібропоглинання та глушники шуму.

5.5 Аналіз запиленості повітря робочої зони пилом

При змішуванні та дозуванні можливе утворення, так як всі речовини знаходяться в дрібнозернистій твердій фракції.

Чистота повітря в лабораторії визначається вмістом пилу і шкідливих речовин. У ГОСТ 12.1.005-88[19] встановлені гранично допустимі

концентрації шкідливих речовин $q_{ГДК}$ (мг/м³) в повітрі робочої зони виробничих приміщень.

Гігієнічне нормування шкідливих речовин проводять по граничнодопустимих концентраціях (ГДК, мг/м³) у відповідності з нормативними документами. Для робочих місць визначається гранично допустима концентрація в робочій зоні ГДК_{рз} (ГОСТ 12.1.005-88, СН245-71).

Концентрація шкідливих речовин, що впливають на організм людини, в лабораторії в умовах експерименту не перевищує гранично допустимих концентрацій. (СН245-71)[20].

5.6 Електробезпека

У лабораторії використовується струм напругою 220 В для живлення 3D-принтера. Опір ізоляції силових та освітлювальних електропроводів повинен бути не менше 0,5 МОм.

Категорія приміщення визначається наявністю в приміщенні чинників підвищеної або особливої небезпеки електротравм. До чинників підвищеної небезпеки належать: температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35 °С; відносна вологість більше 75%, але менше повного насичення (100%); струмопровідна підлога — металева, бетонна, цегляна, земляна тощо; струмопровідний пил; можливість одночасного доторкання людини до неструмовідних частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт із землею. Лабораторія 02-9 належить до приміщення з підвищеною небезпекою електротравм.

Можливими випадками ураження електричним струмом у даній лабораторії є пошкодження проводки установок, відсутність заземлення електричного обладнання або пошкодження розетки.

Основні чинники електричного характеру це:

а) величина струму – гранично допустимий струм, який може пройти через людину, при нормальному (неаварійному) режимі роботи

електроустановки не повинен перевищувати 0,3 мА для перемінного струму і 1 мА для постійного;

б) величина напруги – гранично допустима напруга для людини при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки не повинна перевищувати 2...3 В для перемінного струму і 8 В для постійного;

в) електричний опір тіла людини;

г) частота і рід струму.

Основними чинниками неелектричного характеру є шлях струму через людину, індивідуальні особливості і стан організму людини, час, раптовість і непередбачуваність дії струму.

Чинниками виробничого середовища, які впливають на небезпеку ураження людини електричним струмом, є температура повітря в приміщенні, вологість повітря, запиленість повітря, наявність в повітрі хімічно активних домішок тощо.

Для забезпечення безпеки використання електроустановок необхідне точне дотримання правил технічної експлуатації та проведення заходів щодо захисту від електротравматизму. Важливе значення для захисту від випадкових дотиків має ізоляція струмоведучих частин і деталей, а також заземлення електричного обладнання.

5.7 Пожежна безпека

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальними осередками, що розповсюджується в часі і просторі. У даній лабораторії можливі пожежі класу А (горіння твердих речовин).

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007[21] приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою відноситься до категорії Д (негорючі речовини та матеріали в холодному стані).

Можливими причинами виникнення пожеж у приміщенні лабораторії можуть бути: коротке замикання в електричних ланцюгах, порушення правил пожежної безпеки при використанні побутових електронагрівальних приладів.

В споруді передбачені технічні (лабораторія оснащена автоматичною пожежною сигналізацією, лабораторія обладнана внутрішнім протипожежним водопроводом), організаційні (розроблено інструкції про міри пожежної безпеки, вивішені на поверххах плани евакуації (рис. 4.2), створено пожежно-технічну комісію) та режимні (обмеження числа осіб, що здійснюють експлуатацію устаткування, виділено визначені місця для паління) заходи щодо забезпечення пожежної безпеки.

У приміщенні лабораторії встановлено 4 пожежні сигналізатори ИП-105, сигнал з яких надходить на основну панель пожежної сигналізації. Сигналізатори ИП-105 спрацьовують на підвищення температури до $t = 72\text{ }^{\circ}\text{C}$. У коридорі знаходиться пожежний кран із приєднаним пожежним рукавом.

Відповідно до ДБН В.1.1-7-2002[9] будівля відноситься до I ступеня вогнестійкості (будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів). На рис. 4.2 представлено план евакуації з приміщення.

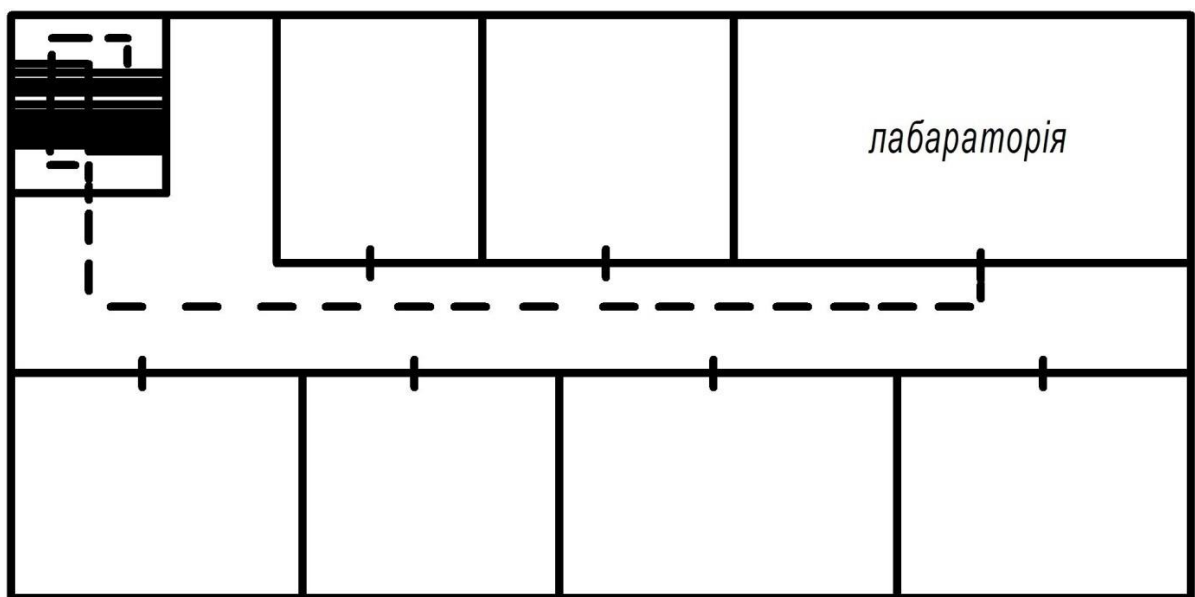


Рисунок 5.2 – План евакуації з приміщення

5.8 Теплове випромінювання 3D-принтера

В лабораторії встановлено 3D-принтер «SolidScape». Даний принтер обладнаний двома баками об'ємом 150 мл. Баки мають чавунний корпус та нагріваються в діапазоні 120...130°C. Дані баки оснащені ізоляційною обмоткою від середовища лабораторії спеціальним ізолюючим покриттям та системою охолодження, що унеможливорює теплове випромінювання.

5.9 Забруднення середовища під час друку на 3D-принтері

Матеріали, що використовуються для друку мають сертифікати, що засвідчують їх екологічність та безпеку в експлуатації, крім того матеріал, що нагрівається у баках принтера щільно закритий. Принтер оснащений пластмасовим коробом, що є додатковим захистом навколишнього середовища.

5. 10 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Щодня у світі фіксуються тисячі подій, при яких відбувається порушення нормальних умов життя і діяльності людей і які можуть призвести або призводять до загибелі людей та до значних матеріальних втрат. Такі події називаються надзвичайними ситуаціями.

Загальними ознаками надзвичайних ситуацій є:

- наявність або загроза загибелі людей чи значне погіршення умов їх життєдіяльності,
- заподіяння економічних збитків,
- істотне погіршення стану довкілля.

Надзвичайні ситуації класифікуються за рівнями:

- НС об'єктового рівня;
- НС місцевого рівня;
- НС регіонального рівня;

- НС загальнодержавного рівня.

Надзвичайна ситуація об'єктового рівня – розгортається на території об'єкту або на самому об'єкті і наслідки якої не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони. Даний вид надзвичайної ситуації властивий споруді дослідницького інституту.

Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій за характером походження подій, котрі зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняє чотири класи надзвичайних ситуацій:

- техногенного характеру
- природного характеру
- соціально-політичного характеру
- військового характеру.

Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

На стійкість роботи об'єкту впливають наступні фактори: надійність захисту робітників і службовців від дії стихійних лих та техногенних катастроф; здатність інженерно-технічного комплексу об'єкта протистояти дії цих стихійних лих і аварій (катастроф); підготовленість об'єкта до проведення рятувальних і невідкладних аварійних відновлювальних робіт і робіт по відновленню порушеної роботи споруди.

У будівлі лабораторії можуть мати місце такі фактори виникнення надзвичайної ситуації: стихійні лиха – явища природи такого масштабу, які викликають катастрофічні ситуації, що характеризуються раптовим порушенням нормальної життєдіяльності населення, руйнування і знищення матеріальних цінностей (землетруси, зсуви, урагани).

Для захисту від землетрусів завчасно визначаються сейсмічні та небезпечні зони в різних регіонах держави, тобто проводиться сейсмічне районування. На картах сейсмічного районування переважно виділяють області, яким загрожує землетрус інтенсивністю VII-VIII балів по шкалі Ріхтера .

Будівлі лабораторії не загрожують дії землетрусів, оскільки Київська область не знаходиться в сейсмічно небезпечній зоні.

Достатньо стійка будівля і до дії зсувів. Територія будівлі знаходиться на рівній поверхні і ймовірність виникнення зсувів наближається до нуля.

Однак існує ймовірність того, що будівля може піддаватися дії ураганного вітру, хоча на даній місцевості ніколи не було зареєстровано вітру силою 12 балів по шкалі Бофорта. Сучасні методи прогнозу погоди дозволяють за декілька годин і навіть діб попередити населення про насування такого стихійного лиха.

Для захисту будівлі від пожеж, що викликані стихійними лихами (блискавки, замикання електропроводки внаслідок пошкодження магістралей і т.п.) використовуються громовідводи, автоматичні системи відключення, системи автоматичного пожежогасіння, а також первинні засоби пожежогасіння.

Виробничі аварії - раптовий вихід з ладу печей під час їх експлуатації, що супроводжується серйозними порушеннями виробничого процесу, утвореннями вогнищ, пожеж, зон забруднення або виникнення інших ситуацій, що створюють загрозу людям і навколишньому середовищу.

Наслідками виробничих аварій і катастроф в лабораторіях інституту, як правило являються пожежі, в результаті яких руйнується будівля, пошкоджується техніка і обладнання.

Для захисту лабораторії від виробничих аварій і катастроф, а також їх попередження, здійснюється комплекс організаційних, інженерно-технічних заходів, які визначають вимоги охорони праці і техніки безпеки, протипожежної безпеки, а також вимог інструкції по експлуатації обладнання, електричних установок.

5.11 Висновки

1. В даній роботі проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які передбачають умови, при яких може виникнути небезпека ураження організму.

2. Запропоновано заходи уникнення травмування

3. Встановлено, що мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм, а рівень шуму, вібрацій та теплові випромінювання не перевищують допустимих норм.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Визначення температури плавлення

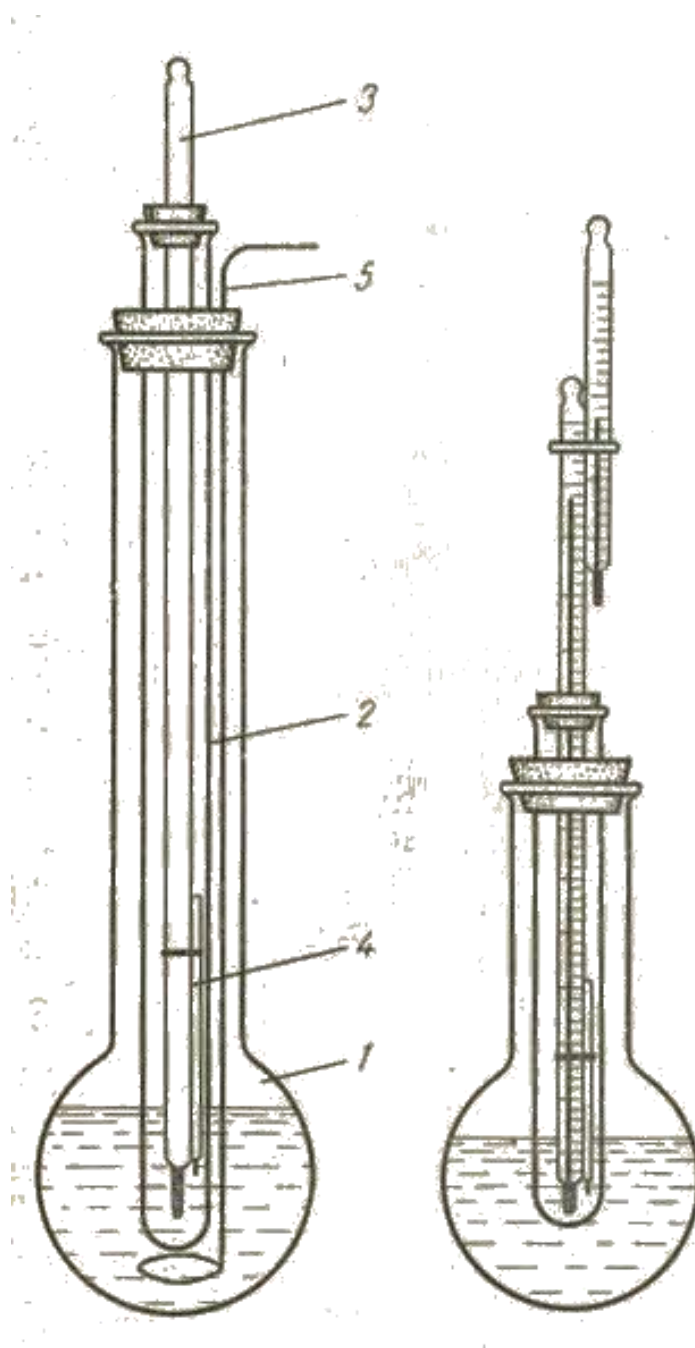
Температурою плавлення називається та температура, при якій речовина з твердого стану переходить у рідкий. Хімічно чисті речовини мають певну точно визначену температуру плавлення. За різницею між температурою початку плавлення і температурою кінця плавлення можна судити про чистоту продукту. Тому при проведенні технічного аналізу під температурою плавлення мається на увазі інтервал температур між початком плавлення (появою перших крапель рідини на стінках капіляра), або температурою, при якій речовина починає спадати в капілярі, і кінцем плавлення (повним переходом речовини в розплавлений стан).

Методика визначення температури плавлення проста і полягає в наступному. Висушену досліджувану речовину, попередньо розтерту в ступці у найтонший порошок, поміщають в запаятий з одного кінця капіляр діаметром близько 1 мм і довжиною 50...70 мм. Для цього відкритий кінець капіляра занурюють у досліджувану речовину. У капіляр, таким чином, потрапляє деяка кількість речовини.

Для ущільнення речовини постукують капіляром по твердій поверхні або кидають капіляр кілька разів у скляну трубку діаметром 6...8 мм, довжиною 50...60 мм, поставлену вертикально на скло. Висота стовпчика речовини в капілярі після ущільнення має бути близько 3 мм. Потім капіляр з речовиною поміщають у прилад (рис. 2.1), який складається з кругло донної колби 1, широкої пробірки 2 і термометра 3. Як телосій у колбу заливають сірчану кислоту або силіконове масло.

Капіляр 4 прикріплюють до термометра гумовим кільцем. Капіляр розташовують так, щоб речовина в ньому знаходилася на рівні середини кульки термометра. Термометр і капіляр не повинні торкатися стінок пробірки. Колбу приладу нагрівають до температури на 10...20 °С нижче передбачуваної температури плавлення речовини. Потім нагрівання ведуть так, щоб температура

піднімалася на $2...3\text{ }^{\circ}\text{C}$ за хвилину, а за $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до очікуваної температури плавлення – на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ за хвилину. Уважно спостерігають за станом речовини. Відзначають появу перших крапель рідини або початок спадання речовини і реєструють температуру початку плавлення. Кінець плавлення відзначають, коли зникнуть останні крупинки твердої речовини.



1 – колба; 2 – пробірка; 3 – термометр; 4 – капіляр; 5 – мішалка

Рисунок 2.1 – Прилад для визначення температури плавлення

2.2 Визначення в'язкості

В'язкість – властивість рідин і газів чинити опір переміщенню однієї їх частини відносно іншої, що характеризується силами внутрішнього тертя.

Одиниця динамічної в'язкості в системі СІ – Па·с. У системі СГС одиниця в'язкості – Пуаз. $1\text{Па}\cdot\text{с} = 10\text{Пуаз}$.

Іноді в техніці користуються поняттям питомої в'язкості, тобто відношенням в'язкості рідини до в'язкості води.

Кінематична в'язкість вимірюється в $\text{м}^2/\text{с}$ у системі СІ. Та ж одиниця в системі СГС називається Стокс.

Прилади для вимірювання в'язкості називаються віскозиметрами. У віскозиметрах використовуються два різних принципи:

- за швидкістю витікання рідини з малого отвору або з капіляра;
- за швидкістю падіння кульки в грузлому середовищі.

Перший принцип засновано на формулі Пуазейля, яка дає залежність між об'ємом рідини, яка витікає із трубки радіусом R і довжиною l (рис.2.2):

$$V = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot l} (P_1 - P_2) \cdot t, \quad (2.1)$$

де P_1 і P_2 – тиск на торцях трубки;

R – радіус трубки;

l – довжина трубки;

t – час витікання;

η – динамічна в'язкість.

Другий принцип вимірювання в'язкості засновано на визначенні швидкості падіння кулі в грузлому середовищі (формула Стокса):

$$v = \frac{2 \cdot (\rho - \rho^l) \cdot g \cdot r^2}{9 \cdot \eta}, \quad (2.2)$$

де v – швидкість падіння кулі в рідині;

ρ – густина матеріалу кулі;

ρ' – густина рідини;

r – радіус кулі;

η – динамічна в'язкість.

Віскозиметри Брукфільда підрозділяються на три основних типи: аналогові (із круговою шкалою), цифрові й програмувальні. Основне розходження між ними полягає у способі відображення результатів. В аналогових віскозиметрів результат зчитується за покажчиком на круговій шкалі, а в цифрових виводиться на дисплей. Крім того, цифрові віскозиметри обладнані аналоговим виходом $0 \dots 10$ мВ, до якого можна підключити різні зовнішні пристрої, такі як дисплей, контролер або самопис. Внутрішня будова аналогових і цифрових віскозиметрів практично однакова й також однаковою є методика використання.

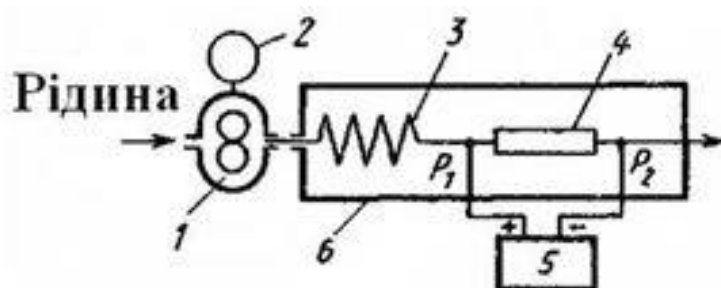


Рисунок 2.2 – Схема капілярного віскозиметра

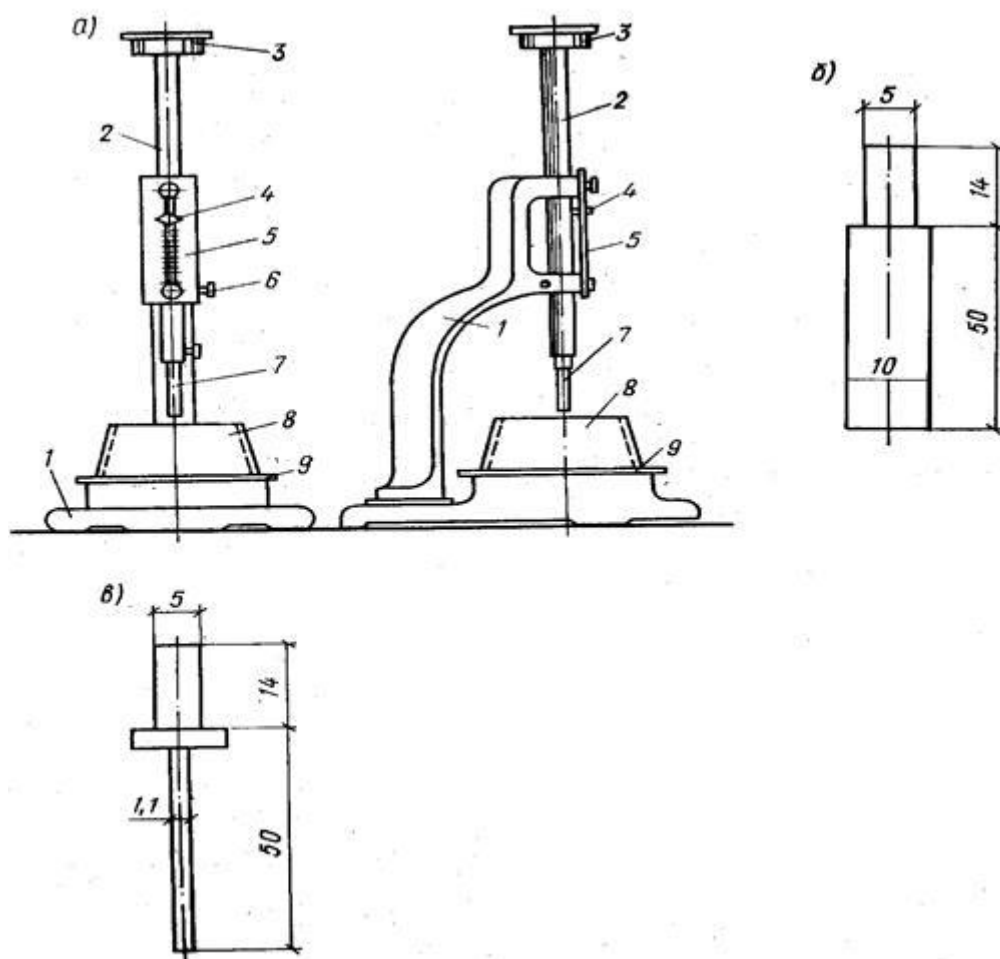
Закон Пуазейля (2.1) описує закономірності руху рідини в капілярі. Вимірявши об'єм, різницю тисків та знаючи геометричні розміри трубки, можна визначити коефіцієнт динамічної в'язкості:

$$\eta = \frac{\pi \cdot R^4 \Delta P \cdot t}{8 \cdot l \cdot V}. \quad (2.3)$$

2.3 Визначення часу тужавіння

Визначення термінів тужавіння проводиться за допомогою пластометра Віка (рис. 2.3).

Тужавіння – це процес поступового твердіння рухомої речовини до втрати пластичності, коли механічна дія стає утрудненою (в кінці тужавіння). В залежності від величини пластично-в'язких властивостей, які можливо встановити за показниками проникнення голки приладу Віка, розрізняють початок та кінець тужавіння композиції.



1 – металева станина; 2 – рухомий стрижень; 3 – майданчик для додаткового вантажу; 4 – покажчик; 5 – шкала; 6 – затискувальний гвинт; 7 – сталева голка; 8 – кільце; 9 – скляна пластина

Рисунок 2.3 – Пластометр Віка: а – загальний вигляд приладу (спереду і збоку); б – штовхач; в – сталева голка

Перед випробуванням слід перевірити, чи вільно опускається стрижень приладу, його нульові показники, приводячи голку в зіткнення з платівкою, на якій розташовано кільце. У разі відхилення від нуля шкалу приладу відповідним чином пересувають.

Для визначення терміну тужавіння композиційного матеріалу його поміщають у склянку місткістю 20 мл та ставлять склянку під голку, після чого приводять голку в зіткнення з поверхнею матеріалу та закріплюють стрижень стопорним пристроєм.

Після кожного занурення голку ретельно витирають. При цьому відзначають два моменти: перший, коли голка починає не доходити до дна, і другий, коли голка опускається в матеріал не більше, ніж на 0,5 мм. Відповідно – час від початку випробування до моменту, коли голка починає не доходити до дна, вважають початком тужавіння, а час від початку до тих пір, коли голка опускається в тісто не більше, ніж на 0,5 мм, – кінцем тужавіння.

6 СТАРТАП-ПРОЕКТ

6.1 Команда

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Інженерно-фізичний факультет. Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів.

Лідер команди:

Лютий Р.В. (к.т.н., доц.)

Генератор ідей:

Лютий Р.В. (к.т.н., доц.)

Виконавці:

Стаднійчук В.С. (студентка)

6.2 Назва проекту

«Модельні композиції для 3D-принтерів.»

6.3 Короткий опис проекту

Розроблено склад модельної композиції для 3D-друку з спеціальними властивостями, які використовуються для 3D-принтерів «Solidscape».

Розроблена технологія вирішує проблему дорогоякісних матеріалів та здешевлює процес виробництва ювелірних виробів.

За видом проект відноситься до проектів «новий продукт на існуючий ринок».

Споживчий сегмент – B2B.

6.4 Бізнес-модель

6.4.1 Цінний продукт

Виготовлення ювелірних виробів, як за стандартною технологією для масового виробництва (сережки, каблучки, підвіски), так і за індивідуальним замовленням та ексклюзивними ескізами.

6.4.2 Сегмент споживачів

Споживачі ринку дрібного сегментування категорії B2B. Підприємства та приватні підприємці, які виробляють ювелірні вироби.

ПК «S.O.V.A.»

ПП «MAGA»

6.4.3 Канали збуту

Використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин), послуги компаній перевізників.

6.4.4 Взаємодія з споживачами

Підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, інтернет-магазин, пошукова оптимізація, реклама на інших сайтах і веб-сторінках, використання безкоштовних дошок оголошень, банерна реклама, реклама через соціальні мережі. Підтримка клієнтів через E-mail/сайт. Застосування «програми лояльності» до клієнтів (гарантійні зобов'язання).

6.4.5 Дохід (монетизація)

Отримання доходу з продажу готових виробів основної номенклатури та індивідуальних замовлень.

6.4.6 Ключові види діяльності

Виробництво виробів. Наукова діяльність. Маркетингова діяльність.

6.4.7 Ключові ресурси

Матеріальні – компоненти модельної композиції. Технологія виробництва. Охоронні документи (патенти). Науково-технічні працівники.

6.4.8 Ключові партнери

Підприємство, яке надає виробничу базу: ФОП «Черниш С.В.». Партнери з надання логістичних та маркетингових послуг: оптимізація та просування сайтів «Інста Плюс», «DELPOST». Постачальники сировини та енергоресурсів для виробництва: ТОВ «МЕНДЕЛЕЕВ».

6.4.9 Витрати

Витрати на оренду промислових потужностей. Витрати на ресурсозабезпечення, логістику, маркетинг, підтримку інтернет-ресурсів.

6.5 Споживчі властивості товару

Моделі, виготовлені з композиції має задовільні міцнісні характеристики, забезпечує хорошу виплавляємість композиції з ливарної форми та забезпечує мінімально допустиму зольність в порожнині ливарної форми.

Вартість компонентів композиції дозволяє значно знизити вартість виготовлення ювелірних виробів та бути конкурентоспроможним на ринку матеріалів.

6.6 Дослідження ринку

За результатами аналізу існуючого ринку продукції аналогічного призначення можна зробити висновок, що:

- існує тільки два виробника з аналогічними матеріалами.

6.7 Дослідження конкурентного оточення

Ймовірних конкурентів на ринку в Україні немає. Всі існуючі матеріали імпортуються з Америки.

6.8 Маркетингова стратегія просування

Маркетингова стратегія просування проекту складатиметься з:

- просування проекту в соціальній мережі «Instagram» за існуючою базою клієнтів фірми;
- участі у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців;
- зустрічей безпосередньо на підприємствах, які користуються запропонованою продукцією та проведення демонстрацій та «особистих продажів» виробів;
- поступовим опануванням ринку України та виходом на міжнародний ринок.

6.9 Елементи фінансового плану

6.9.1 Опис бізнес-проекту

Мета проекту – отримання прибутку шляхом продажу модельних композицій та продажу готових моделей ювелірних виробів.

Актуальність проекту – оскільки існує проблема високої вартості модельних композиції для сучасних способів виготовлення виробів, то для її вирішення розробляють нові матеріали та технології, які зменшують собівартість виробництва.

6.9.2 Опис товару/послуги/технології

Товаром є модельна композиція, що не має аналогів на Українському ринку та задовольняє всі технологічні особливості процесу.

6.9.3 Маркетинг та продаж

Цільовий сегмент – B2B. Підприємства ювелірної промисловості.

Маркетингова стратегія просування проекту на початкових етапах включає в себе:

- просування проекту в мережі Internet;
- участь у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців.

Для продажу застосовуються прямі канали збуту:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями;
- збут через інтернет-ресурси.

6.9.4 Фінансовий план

На поточному етапі існування проекту фінансовий план у необхідному обсязі не прораховувався. Однак, розраховано, що заплановані інвестиції для впровадження у виробництво та виробництва готових виробів в межах одного підприємства-виробника становлять:

- оренда промислової потужності: 3000 \$
- відпрацювання технології в умовах виробництва: 200 \$
- ресурсозабезпечення: 9000 \$
- затрати на логістику, маркетинг, з/п: 2000 \$

Поточна ситуація по проекту:

- в наявності є дослідні зразки;
- перші зразки впроваджені у виробництво.

6.9.5 Резюме

Проект призначений для вирішення проблеми високої вартості модельних композицій за технологією виготовлення виробів, що передбачає 3D-друк.

Заплановані інвестиції для впровадження у виробництво на одному підприємстві становлять 14200 \$.

3 РОЗРОБЛЕННЯ СКЛАДУ І ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДЕЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЇ

3.1 Дослідження існуючої модельної композиції для 3D-принтера

Метою даного дослідження було встановлення точного або приблизного хімічного складу композиції, оскільки відомо, що фірми-виробники не надають подібної інформації.

Для дослідження використовували кілька методів. Першим із них була інфрачервона спектроскопічна ідентифікація зразків.

Для цього аналізу використано інфрачервоний Фур'є спектрометр.

Для дослідження було відібрано зразок у вигляді довільних фрагментів зеленувато-синього кольору.

Спектр зразка із його ідентифікацією по пікам наведено на рис. 3.1.

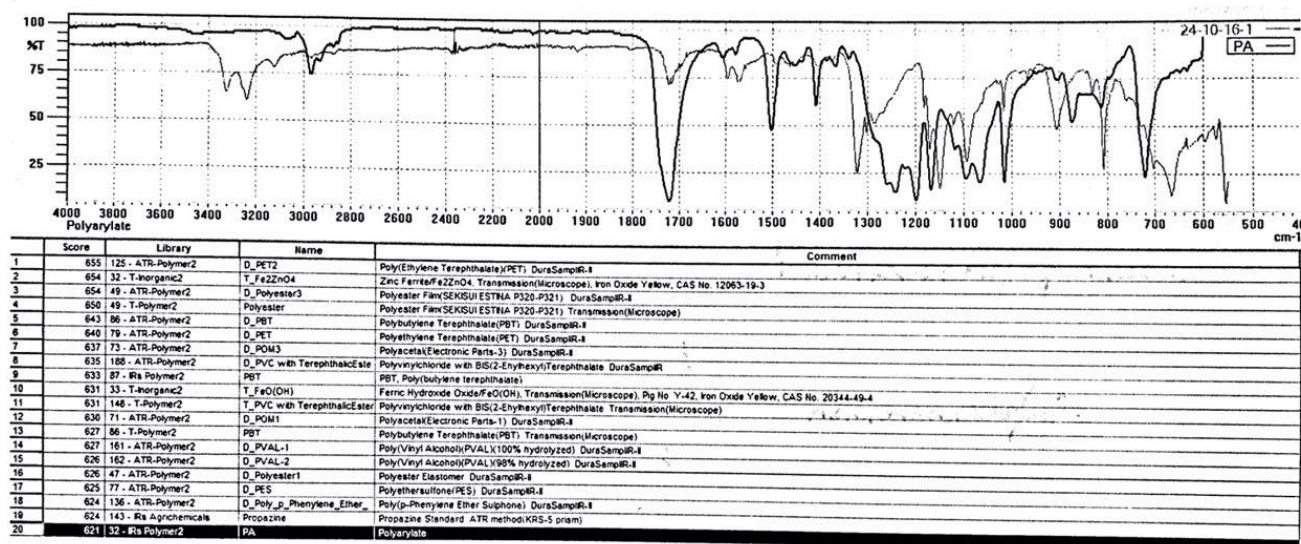


Рисунок 3.1 – Інфрачервоні спектри зразка з аналізом ідентичності

Можна зробити висновок, що зразок складається із декількох подібних сполук, до яких не входить природний або синтетичний віск чи полімери, з яких зазвичай складаються воскові композиції.

Результат даного аналізу однак не дав точних результатів, і тому для уточнення складу необхідно провести ще ряд досліджень.

Наступним експериментом було визначення хімічного складу методом рентгено-флуоресцентного аналізу.

Прилад, на якому виконано аналіз, призначено для експресного якісного і кількісного аналізу складу металевих сплавів, порошків, рідин, відкладень на фільтрувальних елементах, біологічних проб, продуктів харчування на вміст хімічних елементів від Cl (атомний номер $Z = 17$) до U ($Z = 92$) в широкому діапазоні концентрацій. Точність масових часток металів не нижче 0,1%. Межі виявлення домішок важких металів в легкій матриці не гірше 1 ppm (один атом на тисячу).

ElvaXLight (рис. 3.2) – це модифікація спектрометра ElvaX із розширеним в бік легких елементів діапазоном (здатен проводити аналіз починаючи від Mg (атомний номер $Z = 12$)). Відрізняється від базової моделі наявністю автомата зміни фільтрів первинного рентгенівського випромінювання і системи продування зони аналізу газоподібним гелієм.

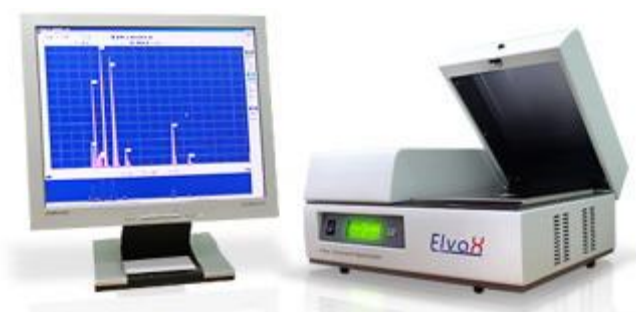


Рисунок 3.2 – Спектрометр ElvaXLight

Для точної ідентифікації компонентів композиції необхідно також провести хроматографію. Якісний аналіз зразка провели за допомогою газового хромато-мас-спектрометра Agilent 6890N/5973inert(GC/MS) (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Хромато-мас-спектрометр Agilent 6890N/5973inert(GC/MS)

Порядок випробування був наступний:

1. Відібрано пробу зразка – частину гранул загальною кількістю до 1 г.
2. До наважки проби додано 3 мл метанолу та витримано впродовж 1 год на ультразвуковій бані.
3. Додано 0,3 мл гептану, пробу піддано інтенсивному струшуванню та центрифугуванню при 3000 об/хв впродовж 5 хв.
4. Верхній шар відібрано та проведено аналіз методом газової мас-спектрометрії. Умови проведення дослідження:
 - колонка капілярна: HP – 5 мс 30 м×0,25 мм×0,25 мкм;
 - режим елюювання – градієнтний: 50 °С витримка 4 хв; підйом температури від 250 °С до 310 °С з градієнтом 20 °С/хв; температуру 310 °С витримували 1хв;
 - швидкість потоку через колонку – 1,0 мл/хв. Газ-носіє – гелій;
 - температура випаровування 250 °С;
 - режим введення проби «split» з коефіцієнтом поділу потоку 1:50;
 - об'єм інжекції 1 мкл;
 - детектор – мас-спектрометричний з одноквадрупольним фільтром мас, режим іонізації – EI, режим детекції іонів – SCAN в діапазоні від 38 до 600 m/z.

Для розділення компонентів досліджуваної композиції використовували газовий хроматограф, обладнаний капілярною колонкою та одноквадрупольним мас-спектральним детектором. Проби іонізували в режимі електронного удару (EI). Ідентифікацію компонентів розділеної суміші проводили з використанням бібліотеки мас-спектрів NIST 02.

В результаті отримано хроматограму складу досліджуваної суміші. З використанням бібліотеки мас-спектрів NIST 02 проведено ідентифікацію компонентів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати мас-спектрометрії модельної композиції

Індекс	Час утримання, хв	Ідентифікація компонента	% площі піка до загальної суми площ піків	% подібності мас-спектра з бібліотечним
1	3,16	Cyclopentane, ethyl-	1,535	96
2	16,60	Phenol,2,4-bis(1,1-dimethylethyl)	2,794	97
3	18,09	Benzensulfonamide, 2-methyl	26,952	95
4	18,56	Benzensulfonamide, 4-methyl	31,417	98
5	19,68	Benzensulfonamide, 3,4-dimethyl-	31,426	82
6	23,30	Benzene, 1,1-sulfonybis(2-methyl)	1,283	80
7	23,80	di-p-Tolylsulfone	4,594	95

Проведемо аналіз отриманих даних.

Позиція 1 у табл. 3.1 – Cyclopentane, ethyl – органічна речовина класу циклоалканів. Хімічна формула – C_5H_{10} , вітчизняна назва циклопентан.

Циклопентан – це летюча рідина, яка знаходить широке застосування як піноутворювач при отриманні жорстких поліуретанових пінопластів. Він відноситься до спінювачів, які не чинять негативного впливу на озоновий шар і після вступу в силу з січня 1989 року Монреальського протоколу прийшов на зміну фреонам R-11, R-12, R 141b.

Основні фізичні властивості циклопентану:

- зовнішній вигляд: безбарвна рідина;
- хімічна формула: C_5H_{10} ;
- молекулярна маса: 70,1;
- температура плавлення: $50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура кипіння: $93,9\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- розчинність: у воді – нерозчинний, в етанолі – розчинний;
- густина: 755 кг/м^3 (при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Властивості циклопентану визначають особливі запобіжні заходи при його транспортуванні. Необхідно уникати нагрівання, тому що ця речовина легко переходить в газоподібний стан. Циклопентан легкозаймистий, що вимагає особливих заходів при транспортуванні і переробленні.

Перехід на циклопентан обумовлено його екологічністю, хоча в порівнянні із своїми попередниками він менш технологічний і має наступні недоліки:

- висока вартість;
- висока температуру кипіння;
- міцність при 10%-му стисненні нижча при аналогічній густині.

Зниження міцності призводить до необхідності підвищувати густину виробів, тобто збільшувати витрату матеріалів.

Перехід на циклопентан як піноутворювач вимагає повного технічного переоснащення підприємства і перегляду технологічних циклів. Перехід на цей спінювач було у першу чергу здійснено підприємствами, які отримали Гранти від міжнародних екологічних фондів.

Позиція 2 (табл. 3.1) – Benzensulfonamide, 2-methyl.

Хімічна формула: $C_7H_9NO_2S$, молекулярна маса: 171,217.

Структурну формулу показано на рис. 3.3.

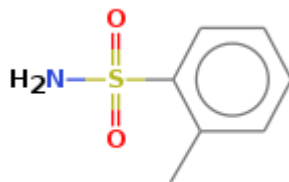


Рисунок 3.3 – Структурна формула Benzensulfonamide, 2-methyl

Позиція 3 (табл. 3.4) – Benzensulfonamide, 4-methyl.

Хімічна формула: $C_7H_9NO_2S$, молекулярна маса: 171,217.

Структурну формулу показано на рис. 3.4.

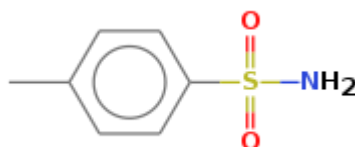


Рисунок 3.4 – Структурна формула Benzensulfonamide, 4-methyl

Позиція 4 (табл. 3.1) – Benzensulfonamide, 3,4-dimethyl.

Хімічна формула: $C_8H_{11}NO_2S$, молекулярна маса: 185,24.

Структурну формулу показано на рис. 3.5.

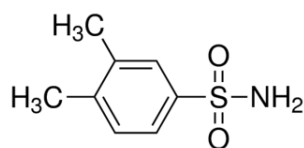


Рисунок 3.5 – Структурна формула Benzensulfonamide, 3,4-dimethyl

Встановлено, що композиція для 3D-друку складається із ряду полімерних сполук схожої будови, але вони відрізняються за фізичними властивостями. Для створення прототипу власної модельної композиції вибрано речовини, аналогічні або близькі за хімічним складом до представлених у цьому пункті. В подальшому

для нерозголошення комерційних таємниць вони носять назви: Компонент №1, Компонент №2, Компонент №3.

3.2 Вибір матеріалів для приготування експериментальних модельних композицій

Для спрощення рецептури композиції, у порівнянні із промисловими аналогами, її готували не із 5...6, а із трьох компонентів.

Компонент №1. Ультразвукова смола для нейлону. Матеріал використовують як утворювач зародків кристалізації. Має полімерну будову та використовується як допоміжний засіб для оброблення в поліетиленах (ПЕТ) і має унікальне застосування як засіб для ремонту автомобільних деталей.

При використанні для модифікування полімеру покращує ударну в'язкість і додає високий блиск до автомобільних деталей, підвищує однорідність несумісних сумішей ПЕТ і покращує процеси формування ПЕТ і екструзії.

Даний матеріал – це зміцнювальна смола для поліамідів. Він стає дрібнодисперсним (розміром $<0,3$ мкм) у нейлоні, дозволяючи одношнековому екструдеру виготовляти загартовані сплави. Використовується для підвищення міцності в автомобільних деталях з нейлону.

Компонент можна використовувати в якості сумісної смоли. Додавання в несумісні ПЕТ-полімерні системи підвищує однорідність змішування і покращує механічні властивості, такі як відносне видовження, ударна в'язкість.

Додавання компонента як зародкоутворювача, який знижує температуру кристалізації ПЕТ в процесі лиття, може прискорити затвердіння розплаву ПЕТ. Компонент також може бути використано як модифікатор реології. Він також може змінювати в'язкість розплаву і міцність готового виробу, що призводить до поліпшення зовнішнього вигляду продукту, продуктивності продукту і продуктивності оброблення.

Компонент №2 – це термопластичний поліефір, отриманий поліконденсацією диметилового ефіру тетрафталевої кислоти і 1,4-бутандіолу.

Він випускається у вигляді гранул, пофарбованих та безбарвних. Марочний асортимент включає матеріали на основі цього компонента, наповнені скловолокном (до 30%), склосфером (до 40%) і мінеральними наповнювачами. Характеризується високою твердістю і жорсткістю, високою розмірною стабільністю, низьким коефіцієнтом тертя і високою зносостійкістю, хорошою теплостійкістю (експлуатаційна температура до 140 °С). Призначено для виготовлення відповідальних деталей в автомобілебудуванні, електротехніці і в побутових приладах, а також в машинобудуванні для виготовлення шестерень, підшипників і втулок. Переробляється литтям під тиском і екструзією, вимагає ретельного підсушування перед переробленням.

Компонент №3 – безбарвна кристалічна речовина, температура плавлення 30 °С. Утворені сполуки – стійкі. Реакції з речовиною протікають без ускладнень, або перегруповань та інших побічних процесів. Це відноситься як до первинних, так і до вторинних сполук даного компонента.

Речовину можна зробити нерозчинною, якщо блокувати її вільні гідроксильні неорганічні групи.

3.3 Дослідження властивостей модельної композиції аналога

Для дослідження властивостей трьохкомпонентних модельних композицій було обрано подвійний симплексний план експерименту.

Такий план найбільш придатний для дослідження систем, які складаються із декількох компонентів, коли їх сумарна кількість завжди дорівнює 1 (або 100%). Точки у вершинах умовної фігури (симплекса, рис. 3.6), який показує область планованого експерименту, відповідають чистим речовинам – компоненти №1, №2, №3. Сторони симплекса відповідають двохкомпонентним системам, а поле всередині симплекса – трьохкомпонентним.

Для планування експерименту (вибору розміщення експериментальних точок) та обрахунку рівнянь регресії вибрано симплекс-решітчасте планування.

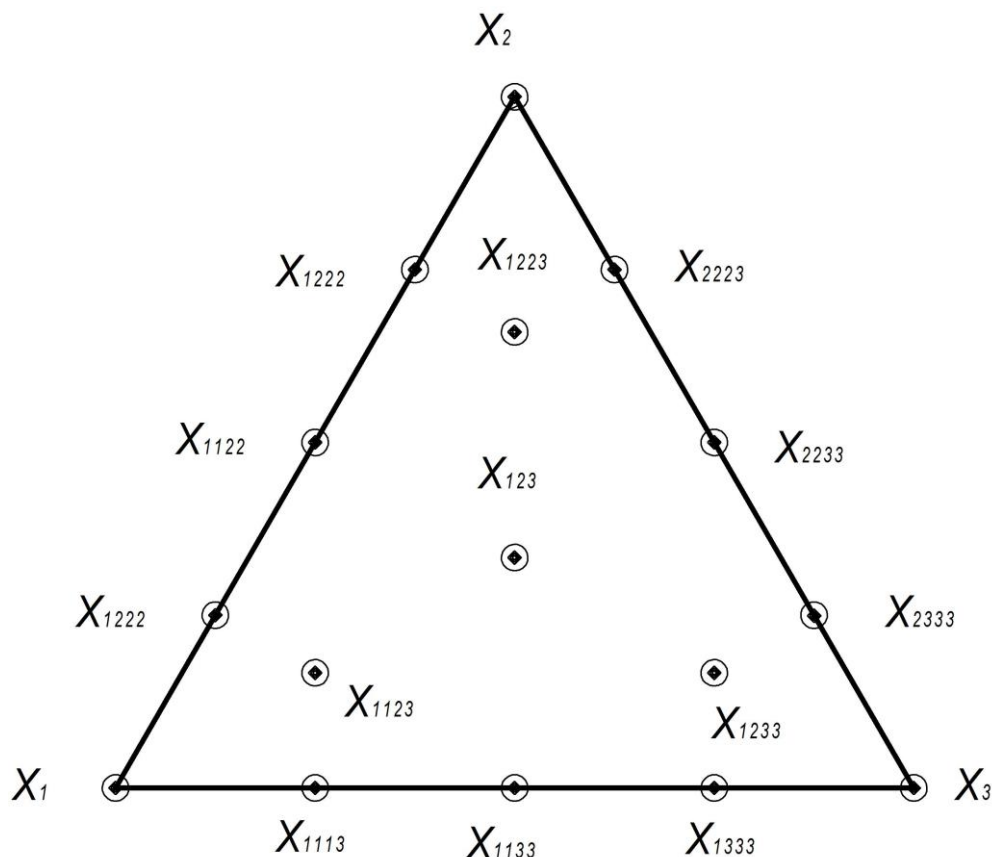


Рисунок 3.6 – Схема симплекс-решітчастого плану експерименту

В зазначених точках проведено експерименти. Приготовлено відповідні композиції методом ретельного перемішування компонентів та подальшого їх сплавлення. Загальна маса кожної проби, враховуючи дефіцитність та високу вартість компонентів, рівно 3 г.

Визначали температури плавлення, значенні в'язкості та часу тужавіння проб за методиками, наведеними у розділі 2. Усі результати експериментів занесено до табл. 3.2. Після заповнення цієї таблиці проведено математичне оброблення з метою побудови рівнянь регресії, передбачених для симплексного планування. Рівняння містить багато нелінійних коефіцієнтів, які дають додаткові уявлення про процеси, які відбуваються у досліджуваних композиціях.

Таблиця 3.2 – Результати планованого експерименту

Індекс	Вміст компонентів модельних композицій						Властивості		
	умовні одиниці			маса, г			температура плавлення, °C	в'язкість, Па*с	час тужавіння, с
	№1	№2	№3	№1	№2	№3			
1	1	0	0	3,0	0	0	260	7,7	76
2	0,75	0,25	0	2,25	0,75	0	257	7,5	76
3	0,5	0,5	0	1,5	1,5	0	240	6,8	59
4	0,25	0,75	0	0,75	2,25	0	195	5,7	70
5	0	1	0	0	3,0	0	160	5,1	68
6	0	0,75	0,25	0	2,25	0,75	129	4,8	57
7	0	0,5	0,5	0	1,5	1,5	121	3,8	59
8	0	0,25	0,75	0	0,75	2,25	135	4,9	38
9	0	0	1	0	0	3,0	30	3,2	30
10	0,25	0	0,75	0,75	0	2,25	115	3,6	12
11	0,5	0	0,5	1,5	0	1,5	195	5,7	10
12	0,75	0	0,25	2,25	0	0,75	200	5,8	21
13	0,5	0,25	0,25	1,5	0,75	0,75	209	5,9	34
14	0,25	0,5	0,25	0,75	1,5	0,75	158	5,2	67
15	0,25	0,25	0,5	0,75	0,75	1,5	91	5,4	61
16	0,33	0,33	0,33	0,99	0,99	0,99	148	5,0	67

Рівняння, яке показує залежність температури плавлення композицій від їхнього складу:

$$t_{\text{пл}} = 260 \cdot x_1 + 160 \cdot x_2 + 30 \cdot x_3 + 120 \cdot x_1 \cdot x_2 + 200 \cdot x_1 \cdot x_3 + 64 \cdot x_2 \cdot x_3 + 64 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot (x_1 - x_2) + 160 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3) + 314,7 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot (x_2 - x_3) + 715 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot ((x_1 - x_2)^2) - 534 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot ((x_1 - x_3)^2) + 365,79 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot ((x_2 - x_3)^2) + 6528 \cdot ((x_1)^2) \cdot x_2 \cdot x_3 + 997,6 \cdot x_1 \cdot ((x_2)^2) \cdot x_3 - 11152 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot ((x_3)^2), \quad (3.1)$$

де x_1 – вміст компонента 1;

x_2 – вміст компонента 2;

x_3 – вміст компонента 3.

Температура в баках принтера становить 120...130 °C, тому необхідно обрати такий склад, який задовольнятиме цій умові. Для цього спочатку проведемо аналіз зміни температур у двохкомпонентних системах на проміжках 1-2, 2-3 та 3-1.

Зі збільшенням вмісту компонента 2 до 20% температура плавлення збільшується, а при подальшому збільшенні вмісту цього компонента температура плавлення зменшується (рис. 3.7).

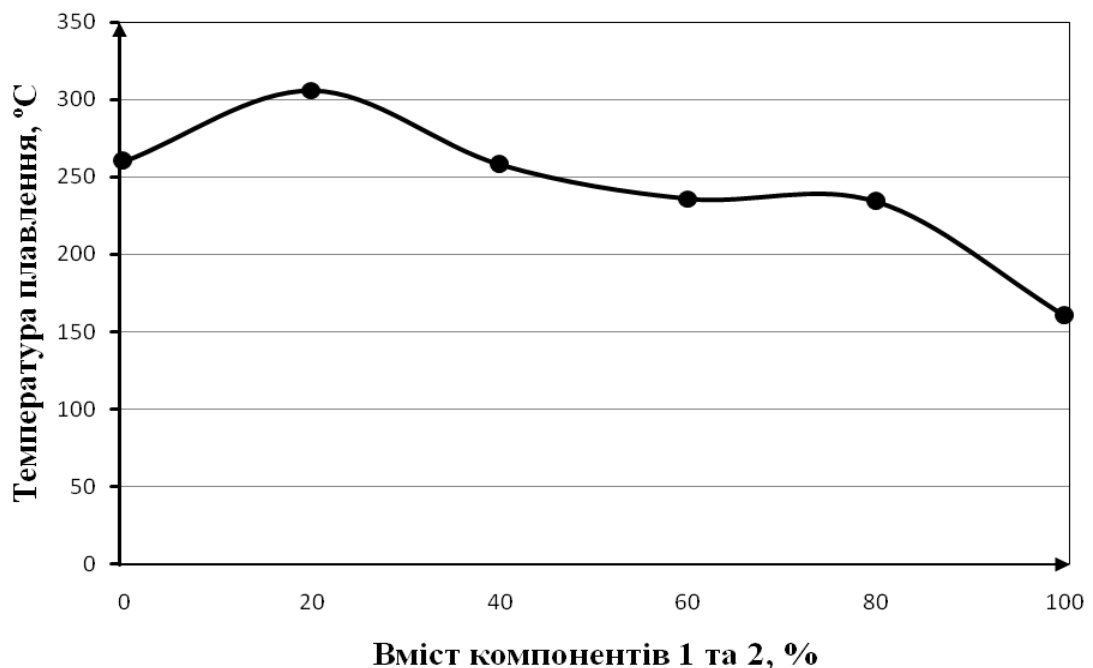


Рисунок 3.7 – Температура плавлення у системі із двох компонентів 1, 2

Необхідна температура плавлення модельної композиції знаходиться в діапазоні 120...130 °С, а поєднання із двох даних компонентів не може забезпечити необхідної умови, тому розглянемо наступний графік із вмістом двох компонентів 2 і 3.

Графік на рис 3.8. показує залежність температури плавлення модельної композиції від вмісту в ній компонентів №2 та №3, без залучення компонента №1.

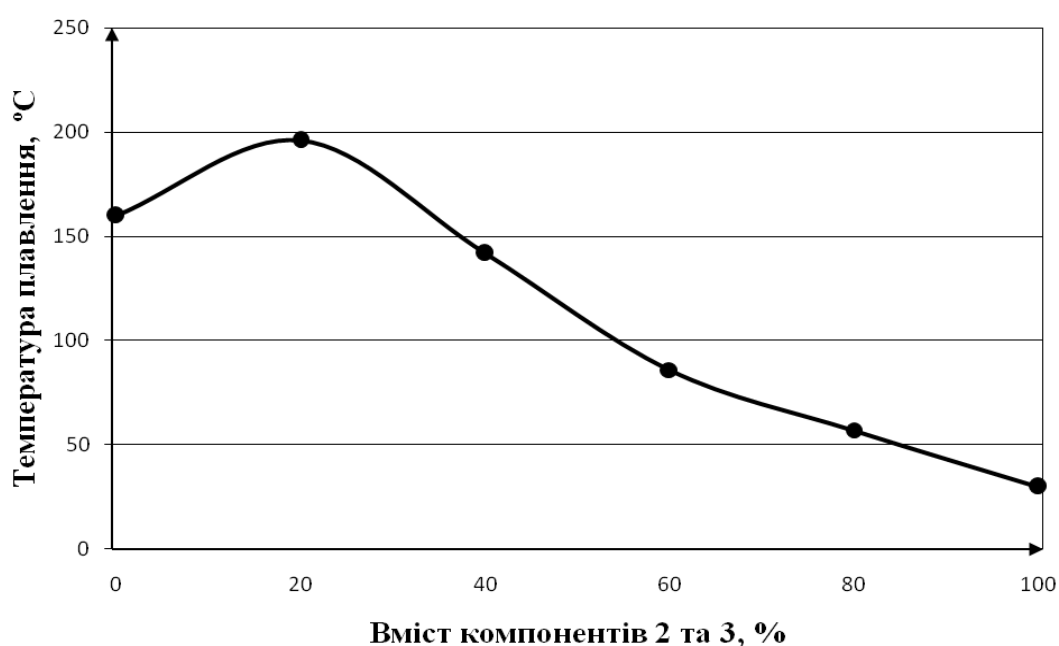


Рисунок 3.8 – Температура плавлення у системі із двох компонентів 2, 3

При складі 51% компоненту №2 та 49% компоненту №3 виготовлена проба має необхідні показники температури плавлення, але не відповідає іншим технологічним вимогам до модельної композиції.

Для повного уявлення про двохкомпонентні системи розглянемо також графік зміни температури плавлення від вмісту компонентів №3 та №1 (рис. 3.9).

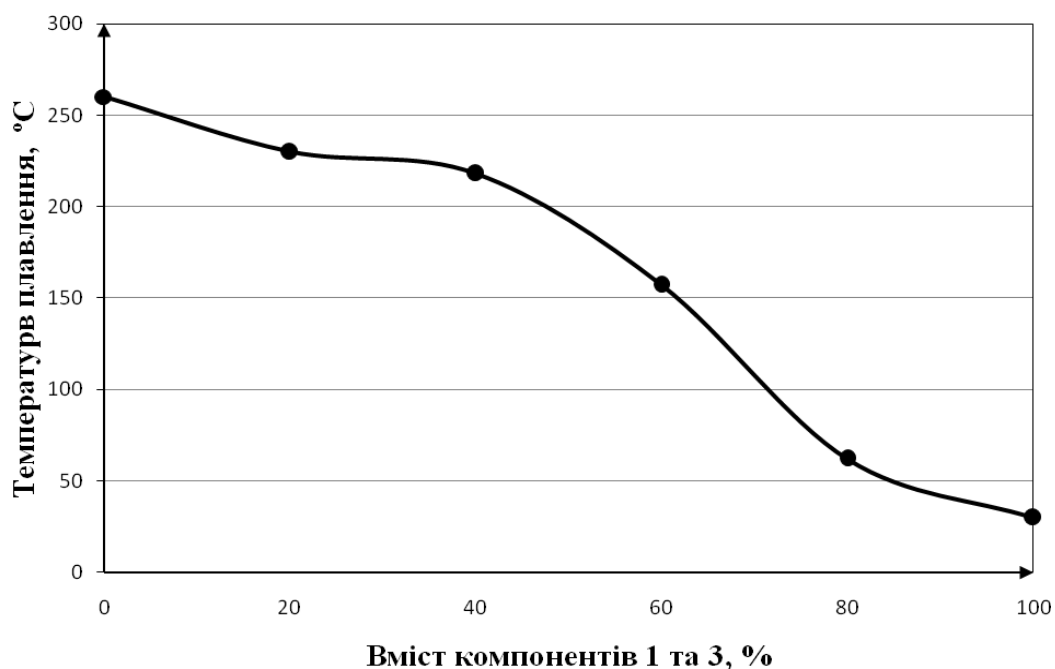


Рисунок 3.9 – Температура плавлення у системі із двох компонентів 3, 1

В точці із вмістом третього компонента 70% та першого 30% температура плавлення відповідає заданій, але виготовлена проба має час тузавіння близько 120 с, що не відповідає заданим вимогам.

Таким чином установлено, що жодне із поєднань двох компонентів не дає змоги приготувати модельну композицію із потрібними властивостями. Тому потрібно готувати мінімум трьохкомпонентні суміші. Розподіл температур плавлення в області експерименту показано на рис. 3.10.

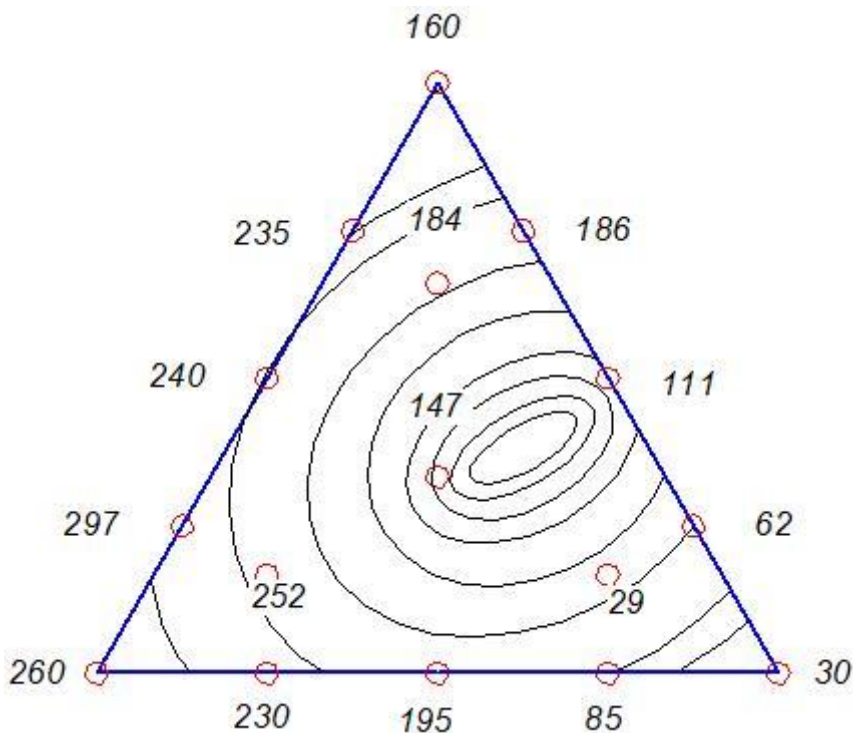


Рисунок 3.10 – Температури плавлення в області експерименту

На рис. 3.10 показано область, композиції в якій мають необхідне значення температур плавлення 120...130 °С. Відсотковий склад компонентів тут наступний:

- компонент №1 – 35...38%;
- компонент №2 – 24...25%;
- компонент №3 – 37...39%.

Технологічно важлива також така властивість як в'язкість. В роботі визначали динамічну в'язкість композицій.

Рівняння, яке описує залежність динамічної в'язкості від вмісту трьох компонентів:

$$\eta = 5,9 \cdot x_1 + 5,1 \cdot x_2 + 4,8x_3 + 15,2 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,2 x_1 \cdot x_3 + 4,6x_2 \cdot x_3 + 7,47x_1 \cdot x_2 \cdot (x_1 - x_2) + 6,13 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3) + 1,33 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot (x_2 - x_3) + 2,67 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot ((x_1 - x_2)^2) - 10,93 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot ((x_1 - x_3)^2) + 10,93 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot ((x_2 - x_3)^2) + 45,07 \cdot ((x_1)^2) \cdot x_2 \cdot x_3 + 8,8 \cdot x_1 \cdot ((x_2)^2) \cdot x_3 - 430,4 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot ((x_3)^2), \quad (3.2)$$

де x_1 – вміст компонента 1;

x_2 – вміст компонента 2;

x_3 – вміст компонента 3.

Розглянемо графіки зміни в'язкості від вмісту компонентів. Аналіз проведено попарно для двохкомпонентних систем, а потім проаналізовано трьохкомпонентну.

Із збільшенням вмісту компонента №2 (рис. 3.11) в'язкість зменшується на відрізок від 20% до 80%. При 52% компонента №1 та 48% компоненту №2 суміш має таку саму в'язкість, як існуюча композиція для 3D-друку, але при цьому не відповідають вимогам інші характеристики.

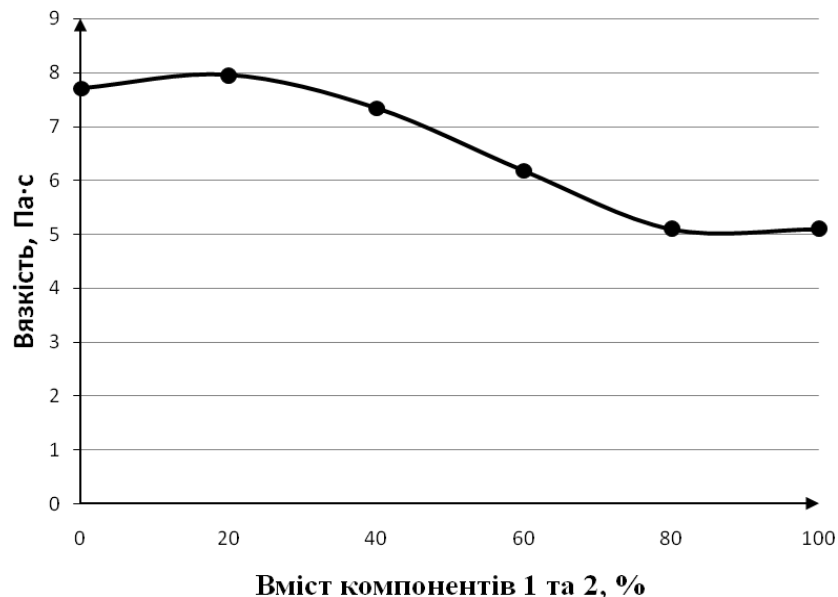


Рисунок 3.11 – В'язкість у системі із компонентів 1, 2

У суміші з компонентів №2 і №3 (рис. 3.12) в'язкість має більш низькі значення. Мінімум знаходиться в області при рівному масовому співвідношенні компонентів. А компонент №3, як видно, має найменшу в'язкість із трьох досліджених речовин. При вмісті цього компонента 80% в'язкість зростає, але є недостатньою для друку 3D-моделей.

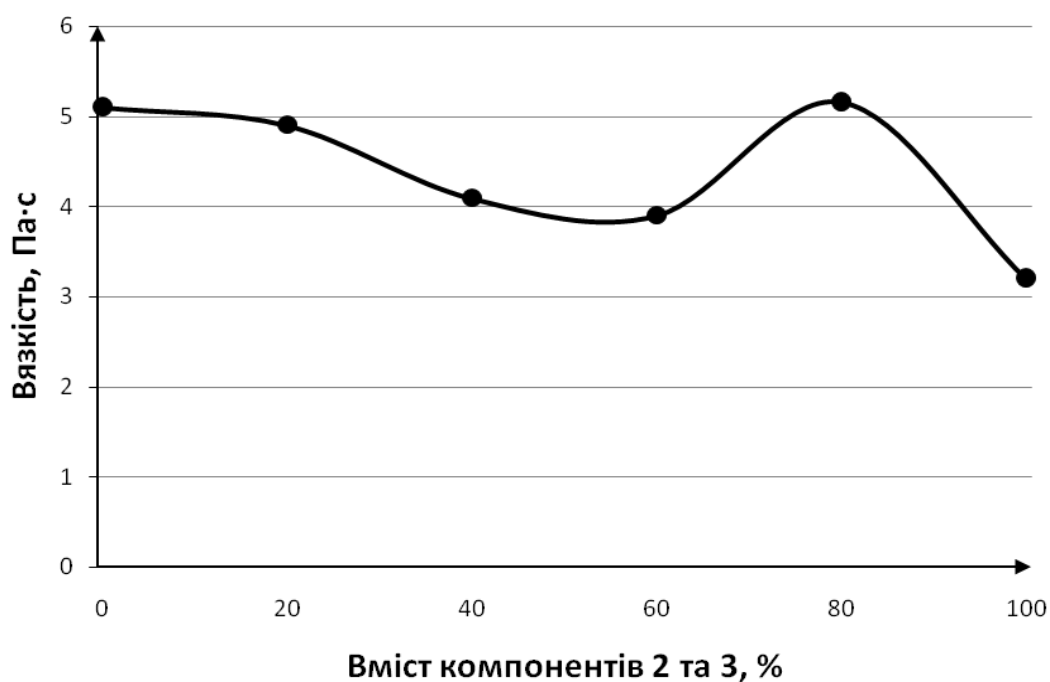


Рисунок 3.12 – В'язкість у системі із компонентів 2, 3

Розглянемо суміш компонентів №3 та №1. На даному графіку (рис. 3.13) спостерігаємо, що компонент №1 збільшує в'язкість матеріалу. Компонент №3 не володіє необхідною для модельних композицій міцністю та має високі показники зольності, але він потрібен для забезпечення заданої температури плавлення.

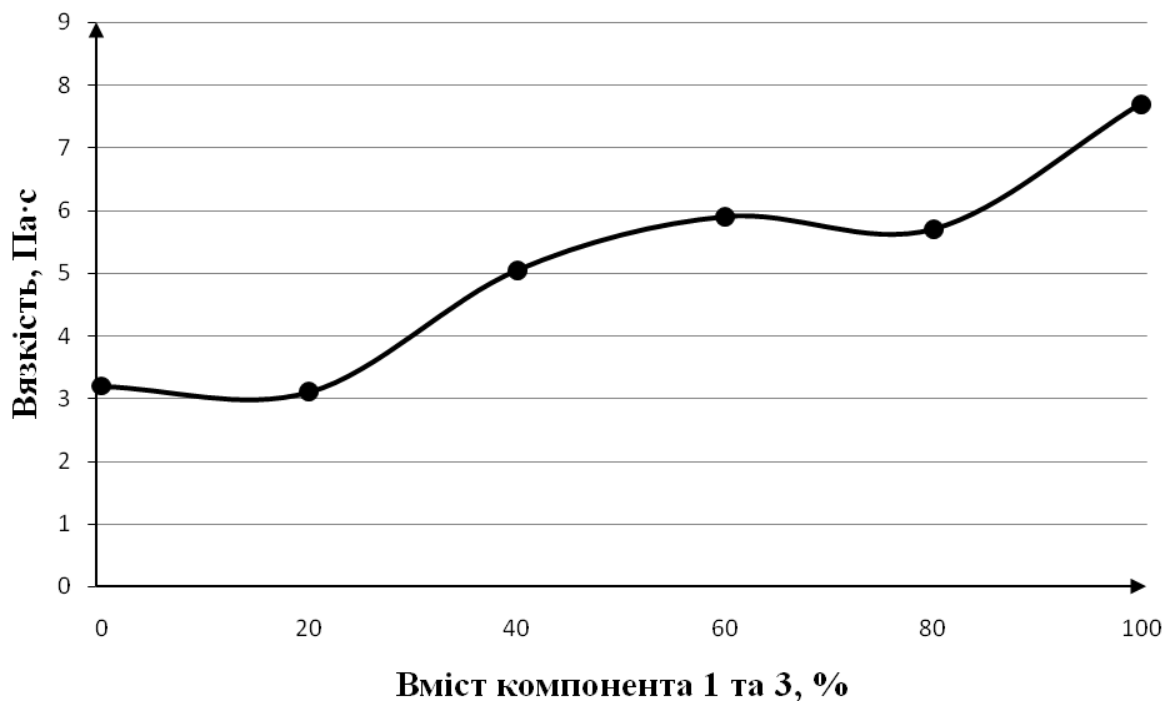


Рисунок 3.13 – В'язкість у системі із компонентів 1, 3

На рис. 3.14 наведено значення в'язкості в усіх точках плану експерименту та зображено на трикутнику область оптимального складу модельної композиції. Цю область вибрано за рис. 3.10 і за температурою плавлення. В'язкість знаходиться в діапазоні 7,2...6,9 $\text{Па} \cdot \text{с}$, що відповідає технологічно необхідному рівню.

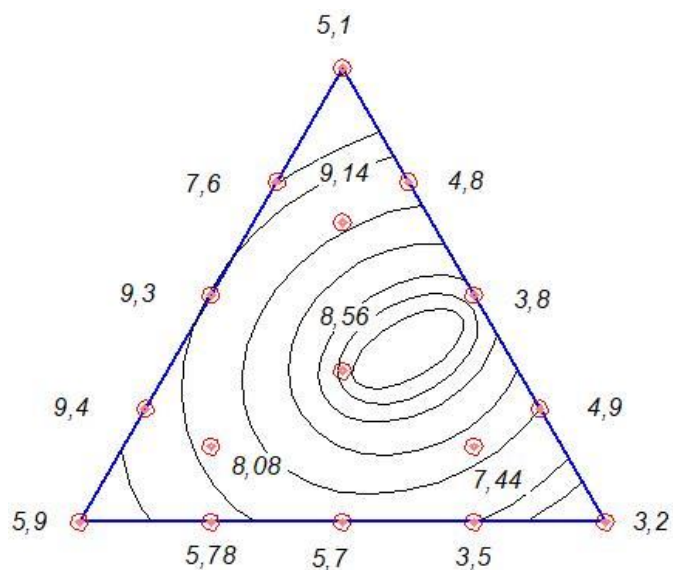


Рисунок 3.14 – В'язкість модельних композицій та область оптимального складу

Провівши необхідні вимірювання та обробивши отримані данні можна сформулювати склад модельної композиції що складається із:

Компонент №1 близько 35%.

Компонент №2 близько 25%.

Компонент №3 близько 40%.

Допустимі відхилення $\pm 1 \dots 2\%$.

Із запропонованої рецептури модельного складу виготовлено декілька моделей на 3D-принтері (рис. 3.15). Чітко відтворено конфігурацію моделі, посадкові місця та крапани. На виливку (рис. 3.16) помітні характерні смуги від вирощування моделі.



Рисунок 3.15 – Модель після вирощуванні на 3D-принтері



Рисунок 3.16 – Ювелірний виливок, виготовлений за витоплюваною моделлю (сплав на основі срібла SrM925)



Рисунок 3.17 – Ювелірний виріб після фінішних операцій

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО–ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково–технічна актуальність теми дослідження

Ювелірне мистецтво як і всі галузі виробництва не стоїть на місці. Сучасні тенденції змушують майстрів застосовувати нові матеріали та способи виготовлення виробів.

Новітні способи виготовлення ювелірних виробів дозволяють в найкоротші терміни виготовити прикраси будь-якої складності.

Модельні композиції, призначені для 3D-друку, значною мірою відрізняються від композицій, які використовують у традиційних технологіях лиття за моделями, що витоплюються. До них не виставляються вимоги щодо чіткого відтворення контурів робочої порожнини прес-форми з мінімальною шорсткістю поверхні. Також вони не мають володіти значною рухливістю в пастоподібному стані.

З іншого боку, для успішного створення воскової разової моделі на 3D-принтері композиція повинна мати ряд спеціальних властивостей: рідкотекучість, швидке твердіння, певну температуру плавлення.

Розроблення подібних композицій у світі триває, і на сьогодні жодна із них не може вважатися досконалою. Одні із них мають високий рівень властивостей, які дають змогу швидко надрукувати точну модель, але є складнощі з їх формовкою та витоплюванням. Використання же відомих воскових композицій навпаки забезпечує якісне формоутворення, але не зовсім придатне для 3D-друку.

Додавання високополімерних сполук до складу модельних композицій є основним способом вирішення задачі. Крім цього, для забезпечення швидкого розплавлення і твердіння, використовують полімери, які значною мірою відрізняються за температурами плавлення. Про склад і властивості цих полімерів відомо дуже мало. Тому на першому етапі необхідно дослідити напрацювання світових виробників 3D-композицій, а тільки після цього переходити до розроблення власної рецептури.

4.2 Мета і завдання НДР

Метою даної роботи було розроблення модельної композиції для 3D-друку.

Завданням даної роботи було:

1. Опрацювати та проаналізувати літературу за темою дослідження;
2. Оптимізувати методику дослідження;
3. Провести експерименти;
4. Виготовити зразки;
5. Дослідити ливарні властивості отриманих зразків;
6. Розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;
7. Розробити організаційно-економічну частину роботи;
8. Сформулювати загальні висновки та рекомендації.

4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Робота виконувалася на приватному підприємстві ФОП «Черниш С.В.»

Планова кошторисна вартість (собівартість) НДР розраховувалась по наступних статтях витрат:

- заробітна плата персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість матеріалів, необхідних для виконання НДР;
- вартість спеціального обладнання для проведення експерименту;
- інші прямі невраховані витрати;
- накладні витрати.

4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу

Розрахунок заробітної плати персоналу базується на визначенні трудомісткості робіт окремих виконавців та їхньої денної заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах НДР).

У виконанні нашої НДР приймали участь два виконавці: доцент, кандидат

технічних наук та інженер-дослідник (магістр). Для кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» місячні посадові оклади заробітної плати складають:

- доцент, кандидат технічних наук – 12052 грн.;
- інженер-дослідник (магістр) – 0 грн.

Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2. Таким чином, величина денної заробітної плати виконавців складає для:

- доцент, кандидат технічних наук – 568,49 грн.;
- інженер-дослідник (магістр) – 0,00 грн.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість макроетапів виконання НДР.

Макроетапи дисертації	Трудомісткість, людино – дні	
	доцент, к.т.н.	інженер- дослідник (магістр)
1	2	4
1. Аналіз фахових публікації за темою	6	28
2. Обґрунтування мети та напрямів	2	11
3. Розробка методики проведення досліджень	3	14
4. Дослідження модельних композицій	—	20
5. Підбір компонентів	—	31
6. Обговорення отриманих результатів	5	12
7. Дослідження суміші-аналога	5	30
8. Обговорення висновків	5	10
Всього	26	156

У випадку відсутності відповідних розрахункових методик трудомісткість різних етапів виконання НДР встановлюється на базі експертних оцінок, які дають провідні фахівці. При цьому НДР розглядається як сукупність макроетапів, аналіз кожної окремої операції не проводиться. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів НДР наведені в таблиці 4.1.

Величина заробітної плати виконавців (ЗП) обчислюється як сума добутків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з них:

$$\text{ЗП} = 26 \cdot 568,49 + 156 \cdot 0 = 14780,74 \text{ грн.}$$

4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Згідно з діючим законодавством єдиний соціальний внесок складає 22,0 % від заробітної платні.

$$B_c = 0,22 \cdot 14780,74 = 3251,76 \text{ грн.}$$

4.3.3 Визначення вартості матеріалів і напівфабрикатів для виконання НДР

Для виготовлення експериментальних зразків були необхідні наступні матеріали: Компонент№1, Компонент№2 та Компонент№3 Дані про вартість перелічених матеріалів наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Вартість основних матеріалів.

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
Компонент №1	кг	1	180	180
Компонент №2	кг	1	200	200
Компонент №3	кг	1	250	250
Всього				630

Транспортно-заготовні витрати приймаємо у розмірі 10 % від вартості матеріалів, тоді загальна вартість використаних матеріалів (C_m) складає:

$$C_m = 630 \cdot 1,1 = 693 \text{ грн}$$

4.3.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів

При виконанні НДР усі роботи проводилися з використанням лише наявного обладнання на приватному підприємстві.

4.3.5 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій

У виконанні даної НДР сторонні організації участі не приймали.

4.3.6 Визначення витрат на службові відрядження

Усі роботи, пов'язані з виконанням НДР за даною темою, проведені на приватному підприємстві, що знаходиться у місті Києві. Окремі службові відрядження не планувались.

4.3.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат

Інші прямі невраховані витрати ($C_{\text{інш}}$) плануються у розмірі 10 % від врахованих.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (14780,74 + 3251,76 + 630) = 1866,18 \text{ грн.}$$

4.3.8 Визначення накладних витрат

До накладних витрат (H_B) відносяться витрати на заробітну плату адміністративно-управлінського, господарчого та допоміжного персоналу (разом з єдиним соціальним внеском), витрати на допоміжні виробництва, видатки на охорону праці, техніку безпеки та екологію, фінансування підготовки кадрів, воєнізованої охорони і деякі інші.

Норматив відрахувань на накладні витрати встановлений в розмірі 20 % планової суми прямих витрат по темі НДР. Розраховуємо величину накладних витрат наступним чином:

$$H_B = 0,2 \cdot (14780,74 + 3251,76 + 630) = 3732,5 \text{ грн.}$$

4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості НДР

Таблиця 4.3 - Калькуляція планової кошторисної вартості НДР за темою.

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн.	%
1. Загальна заробітна плата	ЗП	14780,74	61,07
2. Єдиний соціальний внесок	Вс	3251,76	13,4
3. Матеріали, необхідні для виконання НДР	См	630	2,6
4. Спеціальне обладнання для наукових робіт	С _{об}	—	—
5. Робота і послуги сторонніх організацій	С _{стор}	—	—
6. Витрати на службові відрядження	С _{від}	—	—
7. Інші прямі невраховані витрати	С _{інш}	1866,18	7,7
8. Накладні витрати	НВ	3732,5	15,4
Всього		24261,18	100

Планова кошторисна вартість НДР визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у таблиці 4.3.

Згідно з таблицею 4.3 загальна планова кошторисна вартість НДР складає:

$$В_{НДР} = 24261,18 \text{ грн.}$$

4.4 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності

Дослідження, що проводяться в даній роботі, мають пошуковий та дослідний характер. Відповідно з цим прямий розрахунок очікуваного річного економічного ефекту надзвичайно складний, оскільки відсутні повні дані відносно всіх сфер використання результатів роботи, а також вихідні дані для розрахунку одночасних та поточних витрат. У такому випадку слід використовувати бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки;
- можливість використання результатів;
- теоретичне значення та рівень новизни дослідження;
- складність отриманої розробки.

Частку сумарного річного економічного ефекту, що утвориться за кожною з перелічених шкал, позначають умовно відповідним номеру шкали коефіцієнтом (K_1 , K_2 , K_3 , K_4). Наведемо докладніше систему оцінки за кожною шкалою. Першою розглянемо шкалу важливості розробки.

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

- ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів - 1 бал;
- робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво - 3 бали;
- робота являє собою частину відомчої програми - 5 балів;
- робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів - 7 балів;
- робота є частиною міжнародної комплексної програми - 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

- результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі - 1 бал;
- результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією

— 3 бали;

— результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями - 5 балів.

— результатами розробки можуть користуватися споживачі в межах однієї галузі - 8 балів;

— результатами розробки можуть користуватися споживачі в різних галузях — 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

— робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі - 2 бали;

— під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів - 3 бали;

— внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів - 5 балів;

— внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики або що-небудь подібне - 6 балів;

— отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше - 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

— роботу виконує один підрозділ, витрати до 10000 гривень - 1 бал;

— роботу виконує один підрозділ, витрати від 10000 до 50000 гривень

3 бали;

— роботу виконує один підрозділ, витрати від 50000 до 100000 гривень - 5 балів;

— робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 100000 до 200000 гривень - 7 балів;

— робота виконується багатьма організаціями, витрати більше 200000 гривень - 9 балів. Бальна оцінка економічної ефективності даної науково-дослідної

роботи наведена у табл. 4.4.

В нашому випадку бальна оцінка ефективності (Б) (згідно табл. 4.4) становить:

$$Б = 5 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 135$$

Таблиця 4.4 - Бальна оцінка ефективності НДР.

Показники оцінки ефективності	Умовне Позначення	Характеристика даної розробки	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	Робота являє собою частину відомчої програми	5
2. Можливість використання Результатів розробки	K_2	Результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією	3
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Отримання нової інформації, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів та була невідома	3
4. Складність дослідження	K_4	Робота виконується одним підрозділом, витрати до 500000 грн	3

Умовний річний економічний ефект науково-дослідницької роботи ($E_{\text{НДР}}^y$) визначається :

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot Б \cdot E_{\text{Н}} \cdot V_{\text{НДР}} \quad (4.1)$$

де 500 - умовна вартість одного балу, грн.;

$E_{\text{Н}}$ - нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_{\text{Н}} = 0,15 \div 0,50$, для

нашого розрахунку обираємо $E_H = 0,25$);

V_{HDP} - витрати на виконання НДР (планова річна кошторисна вартість виконання НДР, для нашого розрахунку $V_{HDP} = 24261,18$ грн.).

Таким чином, умовний економічний ефект відповідно (4.1) становить:

$$E_{HDP}^y = 500 \cdot 135 \cdot 0,25 \cdot 24261,18 = 409404 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності :

$$E_{HDP} = E_{HDP}^y / V_{HDP} \quad (4.2)$$

$$E_{HDP} = 409404 / 24261,18 = 1,68$$

Отримана розрахункова величина коефіцієнта економічної ефективності НДР ($E_{HDP} = 1,68$) свідчить про доцільність виконання даної роботи.

4.5 Висновки до розділу 4

1. Розрахована планова кошторисна собівартість проведення даної НДР з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів.
2. Обґрунтована актуальність та економічна доцільність проведення даної роботи

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу існуючої інформації про модельні композиції для 3D-друку встановлено, що їх склад значною мірою відрізняється від традиційних воскових композицій, які застосовують у технологіях лиття за моделями, що витоплюються.

2. Застосування органічних полімерних матеріалів у композиціях для 3D-друку знижує технологічні властивості, які необхідні для ливарних технологій, тому розроблення нового складу для потреб ювелірного лиття є актуальним завданням.

3. На основі досліджень наявних аналогів проведено вибір компонентів для створення модельної композиції, яка має температуру плавлення у межах 120...130 °С, задовільні показники в'язкості та час тужавіння не більше 60 с.

4. Досліджено властивості трьохкомпонентної модельної композиції, до складу якої входять матеріали із температурами плавлення від 30 °С до 260 °С і за допомогою симплексного планування експерименту встановлено зону оптимальних концентрацій.

5. Розроблена композиція за фізичними і технологічними властивостями є придатною до використання у технології 3D-друку ливарних витоплюваних моделей методом Drop-On-Demand-Jet. Виготовлено пробну серію моделей та художніх виливків.

6. Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які передбачають умови, при яких може виникнути небезпека ураження організму. Запропоновано заходи уникнення травмування. Встановлено, що мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм, а рівень шуму, вібрацій та теплові випромінювання не перевищують допустимих норм.

7. Розрахована планова кошторисна собівартість проведення даної НДР з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів. Обґрунтована актуальність та економічна доцільність проведення даної роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Халилов И. Х. Ювелирное литье / И. Х. Халилов, М. И. Халилов – Махачкала. – 2000. – 104 с.
2. Моделирование из воска для ювелиров и скульпторов / ЛоуренсКалленберг; Пер. С англ. – Омск: Издательский дом «Дедал-Пресс», 2004. – 256 с., с ил.
3. Технология литейного производства: Специальные виды литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э. Ч. Гини [и др.]; под ред. В. А. Рыбкина. – М.: Издательский центр «Академия». – 2005. – 352 с.
4. Валерио Фачченда. Литье по выплавляемым моделям. Справочник / В. Фачченда; пер. с англ. – Омск : Издательский Дом «Дедал-Пресс». – 2005.
5. **Лившиц В. Б.** Ювелирное литье. Изготовление ювелирных изделий. — М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век», Издательство «Центр общечеловеческих ценностей», 2005. — 224 с: ил.
6. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям / С.И. Репях. - Д. : Лира ЛТД, 2006. - 1053 с.
7. Литье по выплавляемым моделям/В. Н. Иванов, С. А. Казеннов, Б. С. Курчман и др.; под общ. ред. Я. И. Шкленника, В. А. Озерова. – 3 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с., ил.
8. <https://blog.iqb-tech.ru/3d-printing-wax>
9. http://3d.globatek.ru/3d_printing_materials/wax/
10. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1344116>
11. <http://chem21.info/info/440054/>
12. "Производство изделий из полимерных материалов" ред. В.К. Крыжановского, изд. Профессия, Спб 2004
13. <http://3dwaxworx.co.za/product/3d-wax-materials/>
14. В. Ц. Жидецький. Основи охорони праці: Підручник / 3-є вид., перероблене та доповнене – Львів: Українська академія друкарства, 2008. – 336 с.
15. Конспект лекцій з дисципліни «Охорона праці»
16. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н.Ткачук, М.О.Халімовський, В.В.Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006 – 448 с.

17.ДНБ В.2.5.-28-2006.

18. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том III. Неорганические и элементоорганические соединения. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. биол. наук проф. И.Д. Гадаскиной. Л., «Химия», 1977. – 608с.

19.СН245-71. «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».

20.НАБП Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною небезпекою.

21.ДБН В.1.1-7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва